

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

*до самостійного вивчення і виконання
розрахунково-графічного завдання*

з дисципліни

*Надійність технічних
систем і техногенний ризик*

*(для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної
форм навчання галузі знань «Цивільна безпека»)*

Методичні вказівки до самостійного вивчення і виконання розрахунково-графічного завдання з дисципліни «Надійність технічних систем і техногенний ризик» (для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання галузі знань «Цивільна безпека»). / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: В. Е. Абракітов, С. А. Грязнова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017 – 50 с.

Рецензент канд. техн. наук., проф. Я. О. Серіков

Затверджено на засіданні кафедри «Охорона праці та безпека життєдіяльності», протокол № 5 від 22.10.2014 р.

ЗМІСТ

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
1.1 Мета і значення «надійність технічних систем і техногенний ризик» як навчальної дисципліни.....	4
1.2 Форми самостійної роботи.....	4
1.3 Мета індивідуального семестрового завдання.....	
2 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО СЕМЕСТРОВОГО ЗАВДАННЯ.....	5
3 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО СЕМЕСТРОВОГО ЗАВДАННЯ.....	6
3.1 ЗАВДАННЯ № 1.....	6
3.2 ЗАВДАННЯ № 2.....	8
3.3 ЗАВДАННЯ № 3.....	12
3.4 ЗАВДАННЯ № 4	38
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	49

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Мета і значення «Надійність технічних систем і техногенний ризик» як навчальної дисципліни

Надійність технічних систем і техногенний ризик – це галузь науково-практичної діяльності, спрямованої на вивчення загальних закономірностей виникнення небезпек, їх властивостей, наслідків впливу на організм людини, основ захисту здоров'я та життя людини і середовища її помешкання від небезпек, а також на розробку і реалізацію відповідних засобів та заходів щодо створення і підтримки здорових та безпечних умов життя і діяльності людини.

Курс «Надійність технічних систем і техногенний ризик» передбачає ґрунтовну теоретичну психологічну і практичну підготовку студентів, що включає вивчення можливих небезпек, закономірностей їх проявлення, способів попередження та захисту від них. Основною метою цих методичних вказівок є надання допомоги студентам денної форми навчання в написанні індивідуального семестрового завдання з курсу дисципліни «Надійність технічних систем і техногенний ризик».

На сучасному етапі розвитку цивілізації безпека людини та людства в цілому розглядається як головне питання. Концепція сталого розвитку людства ООН стала основою для вирішення низки проблем з безпеки людини, зокрема розвитку освіти в даній галузі. Людина та її здоров'я є найбільшою цінністю держави, яка докладає чимало зусиль для створення умов безпечної життєдіяльності населення України. Одним з головних напрямів забезпечення безпеки населення України є належна освіта з проблем безпеки. Це відображено у Концепції освіти галузі знань «Цивільна безпека» і реалізується через вивчення комплексу дисциплін, валеології, екології, охорони праці, ергономіки, цивільної оборони тощо, чільне місце серед яких посідає безпека життєдіяльності.

Мета самостійної роботи – доповнення і закріплення знань, набутих за час вивчення теоретичного курсу, активізація творчих здібностей студентів, розвиток навичок роботи з нормативною і технічною літературою, з довідниками, придбання досвіду самостійного рішення питань охорони праці в проектній документації, придбання досвіду по виконанню інженерних розрахунків на основі документів з охорони праці, характерних (в наступному) для дипломного проектування, а також для подальшої інженерної діяльності за фахом, підготовка до самостійного створення безпечних та нешкідливих умов праці в усіх сферах виробництва.

1.2 Форми самостійної роботи

Найважливішою вимогою до підготовки фахівців вищої кваліфікації на сучасному етапі є розвиток у студентів здатності і навичок самостійного придбання знань і умінь, необхідних для інженерного рішення питань з охорони праці після закінчення вищого навчального закладу. Тому робочою програмою курсу передбачається не тільки передача викладачем визначеної наукової інформації, але й організація самостійної пізнавальної діяльності студентів шляхом роботи з літературою і нормативною документацією з охорони праці, шляхом участі в ділових іграх за рішенням питань з охорони праці, а також у період самостійної роботи над дипломним проектом.

Після кожної лекції з дисципліни, у порядку підготовки до наступного лекційного заняття, відповідно до робочої програми, за рахунок бюджету часу, відведеного навчальним планом на самостійне вивчення курсу, студент працює з рекомендованою літературою і нормативними документами по поглибленню, розширенню і закріпленню лекційного матеріалу.

1.3 Мета індивідуального семестрового завдання

Робочою програмою курсу «Надійність технічних систем і техногенний ризик» для студентів денної форми навчання передбачається виконання розрахунково-графічного завдання, а також самостійне опрацювання рекомендованої літератури.

Завдання для виконання індивідуального семестрового завдання студент отримує від викладача, який доводить до студентів вимоги програми курсу, форми контролю знань дисципліни, розподіляє варіанти завдань. Варіант визначається порядковим номером студента за списком деканату для завдань 2,3 та індивідуально для кожного студента для завдання 1.

Мета індивідуального семестрового завдання – закріпити знання студентів, набуті з провідних тем дисципліни; активізувати їх творчі здібності; розвинути навички роботи з нормативною і технічною літературою; підготувати до самостійного вирішення питань безпеки життєдіяльності на виробництві, в побуті й повсякденному житті.

Для засвоєння положень теорії надійності студенти самостійно опрацьовують рекомендовану літературу й виконують індивідуально семестрове завдання.

2 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Після самостійного вивчення курсу для отримання допуску до підсумкового контролю студент повинен виконати розрахунково-графічне завдання з курсу «Надійність технічних систем і техногенний ризик».

Одразу після отримання варіанта індивідуального семестрового завдання студент самостійно виконує завдання в позанавчальний час згідно з цими методичними вказівками. Викладач дає консультації з виконання завдання у встановлені ним консультаційні години.

Індивідуальне семестрове завдання виконують студенти на аркушах паперу формату А-4 на комп'ютері або від руки, завдання можна виконати і в учнівському зошиті. Титульний аркуш виконують таким чином: зверху посередині робиться напис «Міністерство освіти і науки України», під ним «Харківський національний університет міського господарства»; нижче через два інтервали «Кафедра охорони праці та безпеки життєдіяльності»; в центрі аркуша посередині «Індивідуальне семестрове завдання з курсу «Надійність технічних систем і техногенний ризик» № варіанта; нижче наводиться повністю група, курс, факультет та П.І.Б. студента, а також П.І.Б. викладача, який перевірятиме завдання.

3 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО СЕМЕСТРОВОГО ЗАВДАННЯ

3.1 ЗАВДАННЯ № 1

Тема: «НЕБЕЗПЕКИ І РИЗИКИ У ТЕХНОСФЕРІ»

Завдання складається з відповідей на два запитання за варіантом. Відповіді на запитання повинні даватися у реферативній формі. У разі необхідності наводяться розрахунки, схеми, рисунки.

3.1.1 Перелік теоретичних питань для виконання завдання

1 Які основні об'єкти розглядають в теорії надійності? Наведіть приклади об'єктів.

2 Визначення надійності. Чим характеризується надійність? Що розуміють під імовірністю безвідмовної роботи?

3 Значення надійності в техніці. Наведіть практичний приклад.

4 За допомогою яких властивостей, що проявляються в експлуатації, можна судити про те, наскільки виріб виправдовує надії виготівника і споживачів?

5 Призначений ресурс. Середній ресурс. Гамма-процентний ресурс.

6 Класифікація відмов.

- 7 Параметри нормального розподілу.
- 8 Термін служби. Термін гарантії. Ресурс.
- 9 Надійність в період нормальної експлуатації.
- 10 Надійність в період поступових відмов.
- 11 Як складається структурна схема безвідмовності виробу?
- 12 Розрахунок надійності послідовних систем. Як можна підвищити надійність послідовних систем?
- 13 Розрахунок надійності паралельних систем. Чи надійні паралельні системи?
- 14 Економічні показники надійності.
- 15 Аналіз надійності методом «дерева несправностей».
- 16 Навіщо застосовується резервування? Види резервів. Системи резервування.
- 17 Методи кількісного аналізу ризику.
- 18 Економічні методи управління ризиком.
- 19 Методи аналізу ризику небезпеки і працездатності.
- 20 Організація досліджень стійкості функціонування об'єкту.
- 21 Аналіз небезпек і ризику промислового об'єкту.
- 22 Людський чинник як джерело ризику.
- 23 Чинники виробничого середовища і їх вплив на безпеку системи «людина - машина».
- 24 Законодавчі рішення, що відносяться до ризику.
- 25 Економічний аспект ризику.
- 26 Соціальний аспект ризику.
- 27 Методи і засоби попередження виробничого ризику людської ланки в системі «людина - машина».
- 28 Шляхи зниження величини ризику, пов'язаного з експлуатацією виробничого устаткування.
- 29 Основні положення теорії ризику.
- 30 Визначення ризику.
- 31 Прийнятний ризик.
- 32 Економічні методи управління ризиком.
- 33 Методи аналізу ризику.
- 34 Розрахунок ризику.
- 35 Управління ризиком.
- 36 Допустимий ризик.
- 37 З яких етапів складаються розрахунки надійності локальних систем регулювання, контролю, захисту й дистанційного керування?
- 38 Які стадії моделювання і прогнозування небезпек ви знаєте?
- 39 На якій стадії моделювання і прогнозування небезпек аналізують можливі небажані наслідки?
- 40 На якій стадії моделювання і прогнозування небезпек визначають можливі шляхи зменшення негативного впливу небажаних наслідків.

3.2 ЗАВДАННЯ № 2.

Дати кількісну оцінку ступеня ризику реалізації негативної дії небезпеки на людину. Перелік завдань наведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік завдань

№ варіанта	Зміст завдання
1	2
1	Визначити індивідуальний ризик для мешканця X, який мешкає в місті N з кількістю населення 2 млн. чол. Статистичні дані за 10 років свідчать, що за цей час з мешканців міста загинуло 65 тис. чол., одержали травми 122 тис. чол. Мешканець міста N 60 годин на тиждень працює в місті, 2 тижні на рік виїжджає на відпочинок, 6 тижнів кожного року буває у відрядженнях, 42 дні на рік працює на дачі, решту часу перебуває в місті.
2	Визначити ризик травмування людини в області N на виробництві, якщо відомо, що в 2004 році одержали травми 1516 чол. при загальній кількості працюючих 1,45 млн. чол..
3	Визначити індивідуальний ризик травмування людини в місті N внаслідок пожеж, якщо відомо, що в 2003 році було травмовано 76 чол. при загальній кількості населення 1,32 млн. чол.
4	Визначити ризик загибелі людини при пожежі в країні Y та в області N, якщо відомо, що під час пожеж в 2004 році в країні загинуло 1352 чол., в області 153 чол. при кількості населення в області 3657 тис. чол., а населення країни 43 млн. чол.
5	Визначити ризик загибелі людини внаслідок повені в світі, якщо відомо, що в 2004 році внаслідок повені в світі загинуло понад 300 тис. чол. при загальній кількості населення 7,8 млрд. чол.
6	Визначити ризик загибелі та травмування людини внаслідок стихійних явищ, якщо відомо, що стихійні явища в 2000 році призвели до загибелі 260 тис. чол. та загрожували безпеці життя близько 30 млн. чол. при загальній кількості населення на земній кулі 7,8 млрд. чол.
7	Визначити індивідуальний ризик стати травмованим на виробництві в Україні, якщо відомо, що в 1998 р. було травмовано 47531 чол. Кількість працюючих на виробництві 14805717 чол.
8	Визначити ризик загибелі людини на виробництві за рік у світі, якщо відомо, що щорічно у світі гине 200 тис. чол. Кількість працюючих на виробництві 2,4 млрд. чол.
9	Визначити індивідуальний ризик травмування людини в місті N внаслідок падіння, беручи до уваги, що щорічно отримують травми 12 тис. чол. при загальній кількості населення міста 2 млн. чол.
10	Порівняти індивідуальний ризик травмування електричним струмом серед мешканців в області N, беручи до уваги кількість населення області 2,5 млн. чол., якщо відомо, що в 2000 році загинуло 94 чол., а в 2005 році – 53 чол.
11	Визначити індивідуальний ризик для мешканця X, який мешкає в місті N з кількістю населення 1,5 млн. чол. Статистичні дані за 10 років свідчать, що за цей час з мешканців міста загинуло 43 тис. чол., одержали травми 102 тис. чол. Мешканець міста N 60 годин на тиждень працює в місті, 3 тижні на рік виїжджає на відпочинок, 5 тижнів кожного року буває у відрядженнях, 42 дні на рік працює на дачі, а решту часу перебуває в місті.

1	2
12	Визначити індивідуальний ризик для мешканця Х, який мешкає в селі, в якому 250 мешканців. З мешканців села за 5 років 6 чол. загинуло і 49 чол. одержали травми. Мешканець Х 25 годин на тиждень працює в найближчому місті N, 1 тиждень на рік виїжджає з села на відпочинок, 6 тижні на рік виїжджає з села продавати сільськогосподарську продукцію у найближче місто, а решту часу перебуває на селі.
13	Визначити ризик травмування людини в області N на виробництві, якщо відомо, що в 2002 році одержали травми 1751 чол. при загальній кількості працюючих 1,55 млн. чол..
14	Визначити індивідуальний ризик травмування людини в місті N внаслідок пожеж, якщо відомо, що в 2001 році було травмовано 83 чол. при загальній кількості населення 1,26 млн. чол.
15	Визначити ризик загибелі людини при пожежі в країні Y та в області N, якщо відомо, що під час пожеж в 2005 році в країні загинуло 1468 чол., в області 147 чол. при кількості населення в області 3783 тис. чол., а населення країни 42 млн. чол.
16	Визначити ризик загибелі людини внаслідок повені в світі, якщо відомо, що в 2003 році внаслідок повені в світі загинуло понад 310 тис. чол. при загальній кількості населення 7,8 млрд. чол.
17	Визначити індивідуальний ризик стати травмованим на виробництві в Україні, якщо відомо, що в 2000 році було травмовано 46958 чол. Кількість працюючих на виробництві 12806728 чол.
18	Визначити ризик загибелі людини на виробництві за рік у світі, якщо відомо, що щорічно у світі гине 200 тис. чол. Кількість працюючих на виробництві 2,4 млрд. чол.
19	Визначити індивідуальний ризик травмування людини в місті N внаслідок падіння, беручи до уваги, що щорічно отримують травми 14 тис. чол. при загальній кількості населення міста 2,2 млн. чол.
20	Порівняти індивідуальний ризик травмування електричним струмом серед мешканців в області N, беручи до уваги кількість населення області 2,9 млн. чол., якщо відомо, що в 2003 році загинуло 103 чол., а в 2005 році – 64 чол.

3.2.1 Вказівки до виконання завдання

Потенційна небезпека є універсальною властивістю процесу взаємодії людини з середовищем мешкання на всіх стадіях життєвого циклу. Аксіома БЖД - потенційна небезпека є універсальною властивістю процесу взаємодії із життєвим середовищем на всіх стадіях життєвого циклу. Тобто в жодному виді діяльності неможливо досягнути абсолютної безпеки.

Суть аксіоми: будь-яка діяльність потенційно небезпечна. Аксіома про потенційну небезпеку стверджує, що всі дії людини і всі компоненти життєвого середовища, перш за все технічні засоби й технології, крім позитивних властивостей та наслідків, мають здатність створювати небезпечні й шкідливі чинники. При цьому будь-яка нова позитивна дія або наслідок неминуче супроводжуються виникненням нової потенційної небезпеки або групи небезпек. Навіть при найвищому рівні розвитку техніки абсолютне усунення джерел небезпеки неможливе. У зв'язку з цим завдання полягає в тому, щоб небезпеку праці звести до мінімуму.

Діяльність людини потенційно небезпечна, оскільки пов'язана з різними

процесами, а останні – з використанням (вироблення, зберігання та перетворення) хімічної, електричної та інших видів енергії.

Небезпека проявляється у результаті неконтрольованого виходу енергії, нагромадженої в устаткуванні та матеріалах, безпосередньо в людині та навколишньому середовищі.

Неконтрольований вихід енергії супроводжується у певних умовах виникненням подій із загибеллю людей або погіршенням стану їх здоров'я, ушкодженнями або забрудненням матеріальних та природних ресурсів.

Виникнення подій – наслідок появи та розвитку причинної низки передумов, що призводять до втрати управління виробничим процесом, небажаного звільнення використаних шкідливих речовин (енергії) і впливу їх на людей, устаткування та навколишнє середовище.

Ініціаторами та складовими ланками причинної низки подій є помилкові й несанкціоновані дії людей, несправності та відмови техніки, а також нерозраховані дії на них зовнішніх чинників життєвого середовища.

Помилкові й несанкціоновані дії людини обумовлені її недостатньою дисциплінованістю та підготовкою до роботи з потенційно небезпечною технологією, конструктивною недосконалістю техніки.

Відмови та несправності техніки викликані її малою надійністю, а також несанкціонованими або помилковими діями людей.

Нерозраховані (раптові або такі, що перевищують допустимі межі) зовнішні впливи пов'язані із недостатньою комфортністю умов виробничого середовища для людини, його шкідливою дією на технологічне устаткування та техніку.

Як відомо, будь-яка енергія прагне перетворюватися без втрат у кінцевому підсумку в тепло, рівномірно розподілене серед навколишнього середовища, а ентропія будь-якої системи зворотно пропорційна енергії, здатна до подальших перетворень. Внаслідок цього кожна самочинна система неминуче переходить у стан з максимальною ентропією, що характеризується відсутністю енергетичних потенціалів – це така рівновага, що відповідає найбільшому ступеню дезорганізації, хаосу й безладдя. Будь-які спроби вивести систему з таких станів, у тому числі в процесі виробничої діяльності (збагачення і синтез речовин, генерування та акумулювання енергії та ін.) призводять її до нестійкого, а отже, до потенційно небезпечного стану.

У кожному окремому випадку виникнення небезпеки в технічній системі має багато-причинний характер, а її розвиток проходить через ланцюг подій. Варіанти причин і наступну мету подій можна передбачити, якщо створити систему на основі аналізу її структурної будови та можливих дій людини при обслуговуванні або управлінні технічною системою.

Глибокий аналіз відмов технічних систем і можливих помилкових дій людини сприяє підвищенню безпеки (зниженню ризику реалізації небезпеки) за рахунок упровадження в систему захисних та обмежувальних засобів, а також за підвищення вимог до професійної підготовки інженерів і службовців.

Наявність потенційної небезпеки в системі не завжди супроводжується її негативною дією на людину. Для реалізації такої дії необхідно виконати три умови: небезпека (шкідливість) реально діє; людина перебуває в зоні дії небезпеки; людина

не має достатніх засобів захисту і необхідного рівня підготовки.

Критерієм оцінки дій та вчинків людини в умовах наявності небезпеки є ризик, який визначається ймовірністю проявлення (реалізації) небезпеки в зоні перебування людини й ймовірністю її присутності в зоні дії небезпеки (небезпечній зоні).

Відносно малий (нульовий) ризик свідчить про відсутність реальної небезпеки в системі, і навпаки, чим вища величина ризику, тим більша реальність дії небезпеки на людину.

Але нульового ризику в діючих технічних системах забезпечити неможливо.

Світове визнання одержала концепція припустимого (прийнятного) ризику. Зміст цієї концепції – у прагненні до малої небезпеки. Припустимий ризик – це ступінь ризику, який може бути реалізований наявними технічними засобами з одного боку, та економічно обґрунтований – з іншого. За статистичними даними зарубіжних авторів припустимий ризик складає $n \cdot 10^{-6} - n \cdot 10^{-8}$.

Для розробки ефективних засобів безпеки необхідно дати кількісну оцінку ступеня ризику. Ризик R – це частота реалізації небезпеки визначеного виду (класу). Ризик може бути визначений як частота (розмірність – зворотна часу $1/c$) або ймовірність виникнення події A (безрозмірна величина, що лежить у межах $0-1$).

Фахівці з безпеки пропонують найбільш загальне визначення: ризик – це кількісна оцінка небезпеки.

Кількісна оцінка – це відношення кількості тих чи інших несприятливих наслідків до їх можливої кількості за певний період.

Розрізняють:

- індивідуальний ризик;
- соціальний ризик.

Індивідуальний ризик – це частота виникнення впливів певного вражаючого виду, що виникають при реалізації визначених небезпек у певній точці простору (де може перебувати індивідум).

Для оцінки масштабів катастрофічності виявлень (реалізації) небезпеки впроваджується поняття «соціальний ризик». Соціальний ризик – це частота виникнення подій, що полягає в ураженні визначеної кількості людей, які піддаються впливам певного вигляду при реалізації певних небезпек.

Людина, яка працює на підприємстві або мешкає в місцевості, яка під час аварії може опинитися в зоні руйнувань або дії небезпек, піддається ризику. Рівень ризику залежить від багатьох факторів, у тому числі від місця перебування людини й часу.

Як правило, факт впливу небезпеки на людину є випадковою величиною і визначається ймовірністю перебування певної людини в певному місці у випадку реалізації небезпеки.

Імовірність події A можна визначити за виразом

$$P(A) = \frac{M}{n}, \quad (2.1)$$

де M – кількість несприятливих факторів (випадків);
 n – загальна кількість випадків.

При аналізі індивідуального ризику слід враховувати природу нещасного випадку, частку часу знаходження в зоні ризику і місце проживання того, хто ризикує.

Індивідуальний ризик загинути для мешканця X можна визначити з виразу

$$R_n = \frac{N_n \cdot D \cdot t}{T \cdot N_o \cdot d \cdot td}, \quad (2.2)$$

де N_n – число мешканців, які загинули за рік;
 d – кількість тижнів у році;
 D – кількість тижнів перебування мешканця X в місті або селі;
 t – кількість годин на тиждень, коли мешканець підлягає небезпеці;
 td – кількість годин на тиждень;
 T – відрізок часу обліку статистичних даних;
 N_o – кількість мешканців у місті або селі за рік.

Індивідуальний ризик стати жертвою нещасного випадку будь-якого ступеня тяжкості можна визначити для мешканця X з виразу

$$R_{ж} = \frac{(N_n + N_{mm}) \cdot D \cdot t}{T \cdot N_o \cdot d \cdot td}, \quad (2.3)$$

де N_{mp} – кількість травмованих мешканців.

3.3 ЗАВДАННЯ № 3.

Тема: «ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ»

3.3.1 Постановка завдання

Вихідні дані:

N – число елементів, що перебувають на випробуванні;
 t_i – час справної роботи i -го елемента, $i = 1, 2, \dots, n$;
 n – число елементів, що відмовили, за час випробування t .

Визначити показники надійності елемента:

$\lambda(t)$ – інтенсивність відмови як функцію часу;
 $\omega(t)$ – щільність розподілу часу справної роботи елемента;
 $f(t)$ – параметр потоку відмов як функцію часу.

Ці показники надійності необхідно визначити при наступних двох видах випробування:

а) з викиданням елементів, що відмовили;

б) із заміною новими або відремонтованими.

У випадку (а) число елементів у процесі випробування убуває, у випадку (б) — залишається постійним.

Варіанти завдання наведені далі в розділі 3.5.

3.3.2 Відомості з теорії

У теорії надійності під **елементом** розуміють елемент, вузол, блок, що має показник надійності й вхідний до складу системи. Елементи бувають двох видів: невідновлювані (резистор, конденсатор, підшипники й т.п.), і відновлювані або ремонтвані (генератор струму, колесо автомобіля, телевізор, ЕОМ і т.п.). Звідси випливає, що показниками надійності невідновлюваних елементів є тільки такі показники, які характеризують надійність техніки до її першої відмови.

Показниками надійності відновлюваних елементів є показники, які характеризують надійність техніки не тільки до першої відмови, але й між відмовами.

Показниками надійності невідновлюваних елементів є:

$P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи елемента протягом часу t ;

T_1 – середній час безвідмовної роботи (наробіток до відмови);

$\omega(t)$ — щільність розподілу часу до відмови;

$\lambda(t)$ — інтенсивність відмови в момент t .

Між цими показниками існують наступні залежності:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}, \quad (3.1)$$

$$\omega(t) = -P'(t), P(t) = \int_t^\infty \omega(t) dt, \quad (3.2)$$

$$\lambda(t) = \frac{\omega(t)}{P(t)}, \quad (3.3)$$

$$T_1 = \int_0^\infty P(t) dt. \quad (3.4)$$

Інтенсивність відмови багатьох елементів, особливо елементів електроніки, є величиною постійної: $\lambda(t) = \lambda$. У цьому випадку залежності між показниками надійності мають вигляд:

$$P(t) = e^{-\lambda t},$$

$$T_1 = \frac{1}{\lambda},$$

$$\omega(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$\lambda(t) = \lambda = const$$

Показниками надійності відновлюваних елементів є:

$\omega(t)$ – параметр потоку відмов у момент часу t ;

T – середній час роботи між відмовами (наробіток на відмову).

Показниками надійності відновлюваних елементів можуть бути також показники надійності невідновлюваних елементів. Це має місце в тих випадках, коли система, до складу якої входить елемент, є неремонтованою за умовами її роботи (ненаселений космічний апарат, апаратура, що працює в агресивних середовищах, літак у процесі польоту, відсутність запчастин для ремонту й т.п.). Між показниками надійності невідновлюваних і відновлюваних елементів мають місце наступні залежності:

$$f(t) = \omega(t) + \int_0^t f(\tau)\omega(t-\tau)dt, \quad (3.5)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \frac{1}{T_1}. \quad (3.6)$$

З виражень для показників надійності невідновлюваних і відновлюваних елементів можна зробити наступний важливий вивід: основним показником надійності елементів складних систем є інтенсивність відмов $\lambda(t)$. Це пояснюється наступними обставинами:

- надійність багатьох елементів можна оцінити одним числом, тому що їхня інтенсивність відмови — величина постійна;
- по відомій інтенсивності $\lambda(t)$ найбільше просто оцінити інші показники надійності елементів і складних систем;
- $\lambda(t)$ має гарну наочність;
- інтенсивність відмов неважко одержати експериментально.

Впливає, однак, мати на увазі, що щільність розподілу найбільше повно характеризує випадкове явище — час до відмови. Інші показники, у тому числі й $\lambda(t)$, лише в сукупності дозволяють досить повно оцінити надійність складної системи.

Основним способом визначення показників надійності елементів складних систем є обробка статистичних даних про їхні відмови в процесі експлуатації систем або при випробуваннях у лабораторних умовах. При цьому можливі наступні два випадки:

- що відмовили елементи в процесі випробування або експлуатації системи новими не замінюються (випробування без відновлення);
- елемент, що відмовив, замінюється новим того ж типу (випробування з відновленням).

У процесі експлуатації системи або при випробуваннях у лабораторних умовах фіксується дата виникнення відмови. За цим даними шляхом статистичної обробки й визначаються показники надійності елементів.

Як впливає із визначень показників надійності невідновлюваного елемента, усі вони можуть бути обчислені, якщо відомий закон розподілу часу

роботи елемента до відмови у вигляді щільності $\omega(t)$. Якщо елемент може ремонтуватися, то всі показники надійності виражаються через закон розподілу часу безвідмовної роботи $\omega(t)$. Тому важливою обставиною є вміння знаходити $\omega(t)$ за допомогою проведення й обробки результатів експерименту.

Припустимо, що в результаті проведення випробувань над N елементами протягом часу T отримані деякі статистичні дані про розподіл кількості елементів, що відмовили. Можливі три способи реєстрації відмов елементів.

– *Перший спосіб реєстрації*

Елементи, поставлені на випробування, є невідновлюваними. При виникненні відмови деякого елемента фіксується момент часу його відмови.

У результаті випробувань статистичною інформацією є послідовність t_1, t_2, \dots, t_n моментів часу відмови елементів (рис. 3.1).

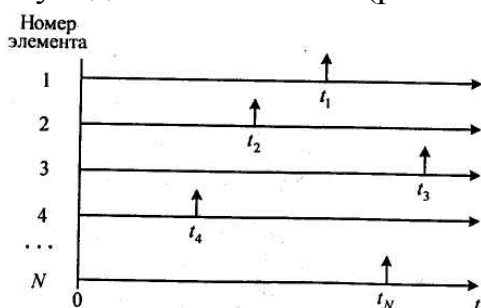


Рисунок 3.1 – Тимчасова діаграма моментів відмов невідновлюваних елементів

– *Другий спосіб реєстрації*

Елементи, поставлені на випробування, є відновлюваними. Після відмови якого-небудь елемента він замінюється новим. У результаті випробувань вихідною статистичною інформацією є послідовність моментів часу відмов i -го елемента $t_{i,j}$ ($j = 1, 2, \dots, i, j = 1, 2, \dots, N$) протягом періоду спостережень T (рис. 3.2). Реалізаціями наробітків елемента в цьому випадку служать різниці $t_{i,j} - t_{i,j-1}$ (передбачається, що $t_{i,0} = 0$).

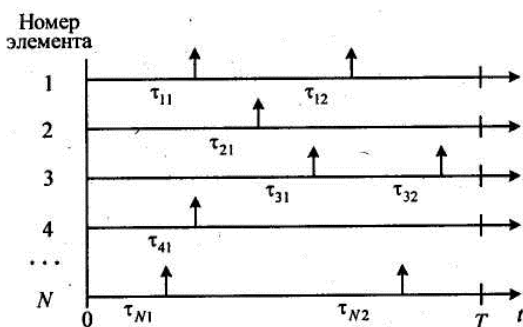


Рисунок 3.2 – Тимчасова діаграма моментів відмов відновлюваних елементів з відомими номерами

Другий спосіб реєстрації відмов, мабуть, зводиться до першого, якщо фіксуються номери елементів, що відмовили. У якості статистичних даних береться сукупність різниць $\tau_{i,j}$ часи, що представляють собою, роботи елементів до першої відмови.

– Третій спосіб реєстрації

Елементи, поставлені на випробування, є відновлюваними. Після відмови якого-небудь елемента він замінюється новим, однак не відомий номер елемента, що відмовив. У результаті випробувань вихідною статистичною інформацією є послідовність $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n$ моментів відмов елементів, де n – число елементів, що відмовили. Таким чином, на відміну від другого способу, тут реєструються моменти відмов елементів без вказівки їх номерів.

Розглянемо статистичні визначення показників надійності елемента. Відповідний статистичний аналог показника надійності будемо позначати тим же символом, що й раніше, але зі знаком $()$ зверху.

Невідновлювані елементи

Вихідними статистичними даними є час роботи елементів першої відмови: $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n$. Тоді середній час роботи елемента до відмови рівно середньому арифметичному часу t_i , т. є

$$\hat{T}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i.$$

Позначимо через $v(t)$ число елементів, для яких відмова відбулася пізніше моменту часу t . Тоді ймовірність відмови елемента рівна

$$\hat{Q}(t) = \frac{v(t)}{N},$$

а ймовірність безвідмовної роботи —

$$\hat{P}(t) = 1 - \hat{Q}(t),$$

Нехай послідовність $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n$ отримана впорядкуванням вихідної послідовності. Функція $\hat{Q}(t)$ являє собою емпіричну функцію розподілу, і якщо всі $t_{(i)}$ різні, то

$$\hat{Q}(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < t_{(1)} \\ i / N, & \text{при } t_{(i)} \leq t < t_{(i+1)} \\ 1, & \text{при } t \geq t_{(N)} \end{cases}$$

Величина всіх стрибків рівна $1/N$, а типовий графік функції $\hat{Q}(t)$ наведений на рисунку 3.3.

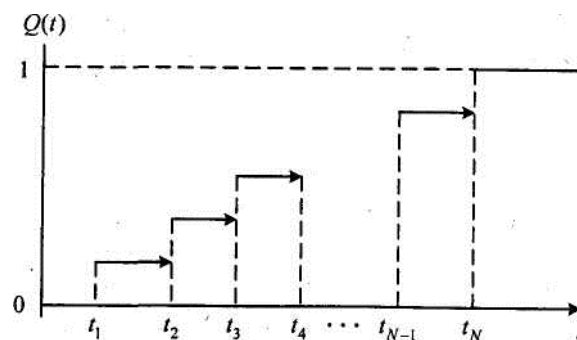


Рисунок 3.3 – Графік статистичної ймовірності відмови елемента

Іншим наочним способом вистави статистичних даних є *гістограма*. Область значень $[t_{(1)}; t_{(N)}]$ розбивається на рівні інтервали $\Delta i = 1, 2, \dots, k$ довжини $h = \frac{R}{k}$, де $R = t_{(N)} - t_{(1)}$, і називається розмахом вибірки. Гістограма являє собою, що примикають друг до друга прямокутники, підставою яких є зазначені інтервали, а висоти рівні щільностям відносних частот $\frac{N_i}{N_h}$, де N_i – число вибірових значень, що потрапили в даний інтервал (рис. 3.4). Гістограма є статистичною щільністю розподілу часу роботи до відмови. Для оцінки щільності іноді використовується також *полігон* відносних частот, який являє собою ламану лінію, побудовану по точках, абсцисами яких є середини інтервалів $\Delta i = 1, 2, \dots, k$, а ординати відповідають щільностям $\frac{N_i}{N_h}$.

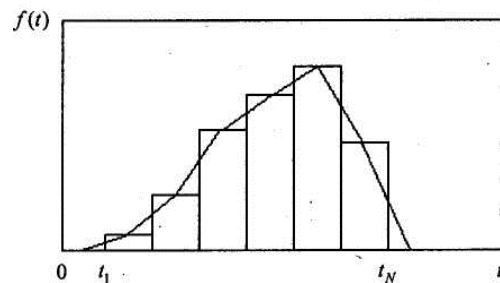


Рисунок 3.4 – Графік статистичної щільності розподілу у вигляді гістограми й полігона частот

Інтенсивність відмови елемента розраховується як відношення щільності розподілу до ймовірності безвідмовної роботи.

Відновлювані елементи

Вихідними статистичними даними є моменти часу відмов елементів: $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n$, де n – число елементів, що відмовили, N – загальне число елементів, що брав участь у випробуваннях. Інформація про відмови елементів може бути представлена у вигляді таблиці 3.1. Увесь період випробувань розбивається на інтервали часу певної довжини, і підраховується кількість елементів, що відмовили, на кожному інтервалі.

Таблиця 3.1 - Таблиця відмов елементів

Δt	Δt_1	Δt_2	...	Δt_k
Δn	Δn_1	Δn_2	...	Δn_k

Табличні дані означають, що на інтервалі часу Δt , було зафіксовано точно Δn , відмов елементів, $t = 1, 2, \dots, k$. Тоді має місце наступне статистичне визначення параметра потоку відмов елемента:

$$\hat{w}(t) = \frac{\Delta n_i}{N \Delta t_i}$$

Для всіх t , що належать i - інтервалу часу:

$$\Delta t_1 + \dots + \Delta t_{i-1} < t \leq \Delta t_1 + \dots + \Delta t_{i-1} + \Delta t_i.$$

Визначення щільності розподілу $f(t)$ шляхом розв'язку інтегрального рівняння (3.5) пов'язане з деякими труднощами, які викликані стрибкоподібною зміною параметра потоку відмов. Один з можливих підходів до визначення функції $f(t)$ полягає в наступному. Знайдемо функцію $f(t)$ у вигляді кусочно-постійної функції

$$\omega(t) = \begin{cases} \omega_k, & \text{якщо } a_{k-1} < t \leq a_k, k=1, 2, \dots, n; \\ 0, & \text{якщо } t=a_n \end{cases}$$

Здесь $a_0=0$, $a_n=T$, ω_k – шукані величини, які можна визначити з умови виконання рівняння (1.5) у середньому по інтегральній метриці

$$\int_0^T \left(\bar{\omega}(t) - f(t) - \int_0^t f(\tau) \bar{\omega}(t-\tau) d\tau \right)^2 dt \rightarrow \min$$

при обмеженнях

$$\int_0^T f(t) dt = 1, f(t) \geq 0$$

3.3.3 Приклад виконання завдання

Постановка завдання

Потрібно визначити показники надійності елемента без відновлення й з відновленням відповідно для двох варіантів вихідних даних:

1. Перший набір вихідних даних

На випробування поставлене $N = 100$ елементів. Моменти відмов елементів представлені в таблиці 3.2. Усі елементи працюють до своєї відмови й після відмови не ремонтуються. Потрібно визначити статистичні й теоретичні показники надійності елемента: T_l , $P(t)$, $Q(t)$, $\omega(t)$.

Таблиця 3.2 - Моменти відмов елементів, у годинах

120	221	151	212	445	575	411	415	152	750
123	130	235	875	147	316	613	745	251	319
120	145	120	309	432	243	649	158	344	789
247	197	623	254	655	723	696	267	997	326
128	130	158	462	346	294	120	30	165	215
232	186	938	146	518	248	177	848	127	198
239	450	216	559	239	560	263	144	139	261
378	289	768	310	413	351	141	292	319	969
56	877	357	265	796	584	243	394	614	146
422	255	360	360	824	114	242	396	166	224

2. Другий набір вихідних даних

На випробуваннях перебуває $N = 10$ елементів. Протягом періоду $T = 700$

годин реєструються моменти часу відмов елементів (табл. 3.3). Передбачається, що елементи, що відмовили, замінюють ідентичними по надійності елементами. Потрібно визначити показники надійності елемента, що характеризують час його роботи між сусідніми відмовами: T_2 , $\omega(t)$, $F(t)$, $\lambda(t)$. Обробка статистичних даних передбачає їхнє угруповання в 10 часткових інтервалах (класах). Рівень значимості прийняти рівним 0,05.

Таблиця 3.3 - Моменти часу відмов елементів

Номер елементу	Моменти відмови на періоді часу 700 годин
1	204; 221; 345; 376; 537; 697
2	2; 39; 71; 104; 118; 213; 544; 596; 608; 657
3	138; 314; 387; 467; 471; 556; 699
4	8; 11; 52; 94* 192; 476; 491; 527; 655
5	106; 168; 325; 360; 690
6	192; 207; 217; 362; 426
7	225; 440; 618; 657; 667
8	371; 420; 500
9	85; 371; 568; 579; 611; 625; 663
10	80; 111; 152; 162; 369; 394; 462; 551

3.3.4 Послідовність виконання роботи з використанням програми Statgraphics

Статистичний графічний пакет Statgraphics (Statistical Graphics System) призначений для статистичного аналізу й обробки даних на персональному комп'ютері. Він є найбільш повною інтегрованою статичною й графічною системою, що поєднує професійні методи обробки більших обсягів даних, якісну графіку й дружній користувацький інтерфейс. Statgraphics дозволяє виконувати статичний аналіз експериментальних даних, отриманих у результаті дослідження складних стохастических (імовірнісних) систем.

Для визначення показників надійності для двох варіантів вихідних даних необхідно виконати послідовність дій:

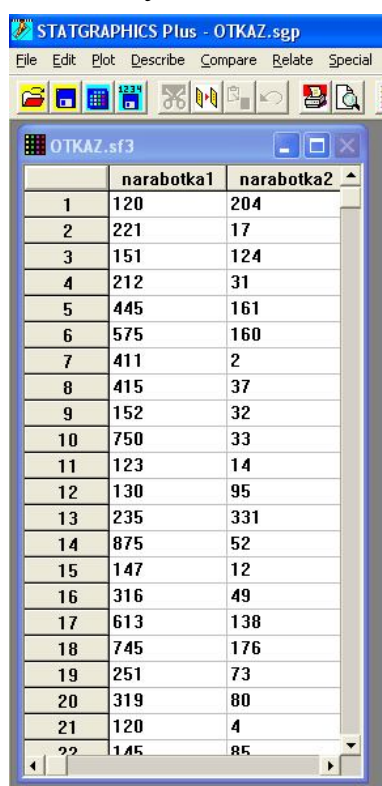
1. *Підготовка вихідних даних до статистичної обробки для двох наборів одночасно.* Із цією метою запускаємо Statgraphics Plus, створимо дві змінні (2 стовпця) з іменами parabolka1 і parabolka2, збережемо їх у файлі з іменем ОТКАЗ.

У змінну (стовпець) parabolka1 помістимо перший набір вихідних даних безпосередньо з таблиці 3.2. Для вихідних даних, що втримуються в таблиці 3.3, обчислимо різниці між наступними й попередніми значеннями моментів часу відмов кожного елемента, у результаті чого одержимо набір чисел, наведений у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Час між відмовами елементів

Номер елементу	Моменти відмови на періоді часу 700 годин
1	204; 17;124;31;161;160
2	2;37;32;33;14;95;331;52;12;49
3	138; 176;73;80;4;85;143
4	8; 3;41;42;98;284;15;36;128
5	106; 62;157;35;330
6	192; 15;10;145;64
7	225;215;178;39;10
8	371; 49;80
9	85; 286;197;11;32;14;38
10	80; 31;41;10;207;25;68;89

Отримані різниці з таблиці 3.3 помістимо в змінну (стовпець) *narabotka 2*. На екрані комп'ютера виходить наступна заставка:

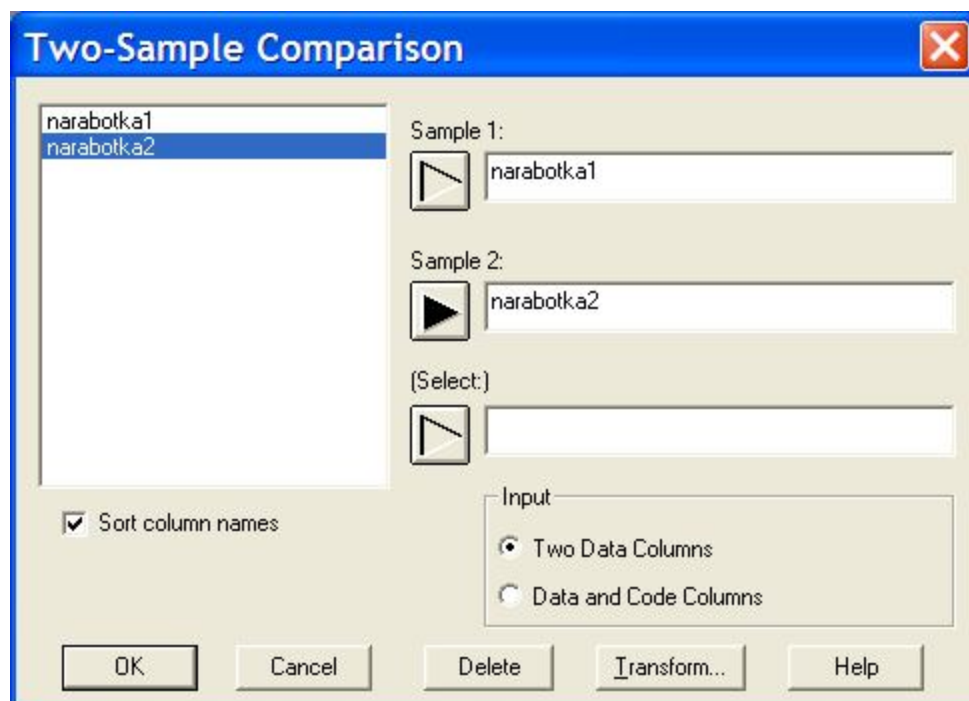
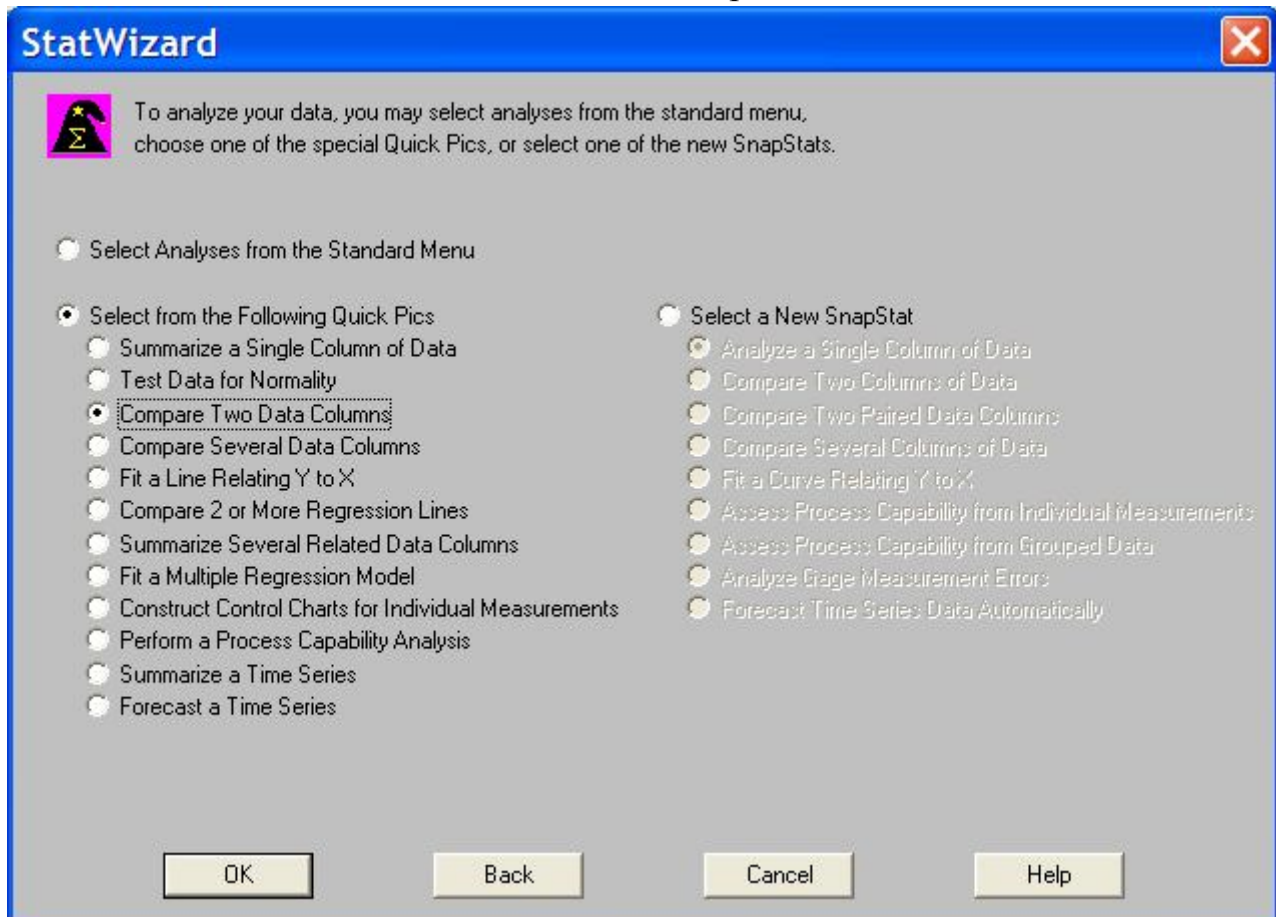


	narabotka1	narabotka2
1	120	204
2	221	17
3	151	124
4	212	31
5	445	161
6	575	160
7	411	2
8	415	37
9	152	32
10	750	33
11	123	14
12	130	95
13	235	331
14	875	52
15	147	12
16	316	49
17	613	138
18	745	176
19	251	73
20	319	80
21	120	4
22	145	85

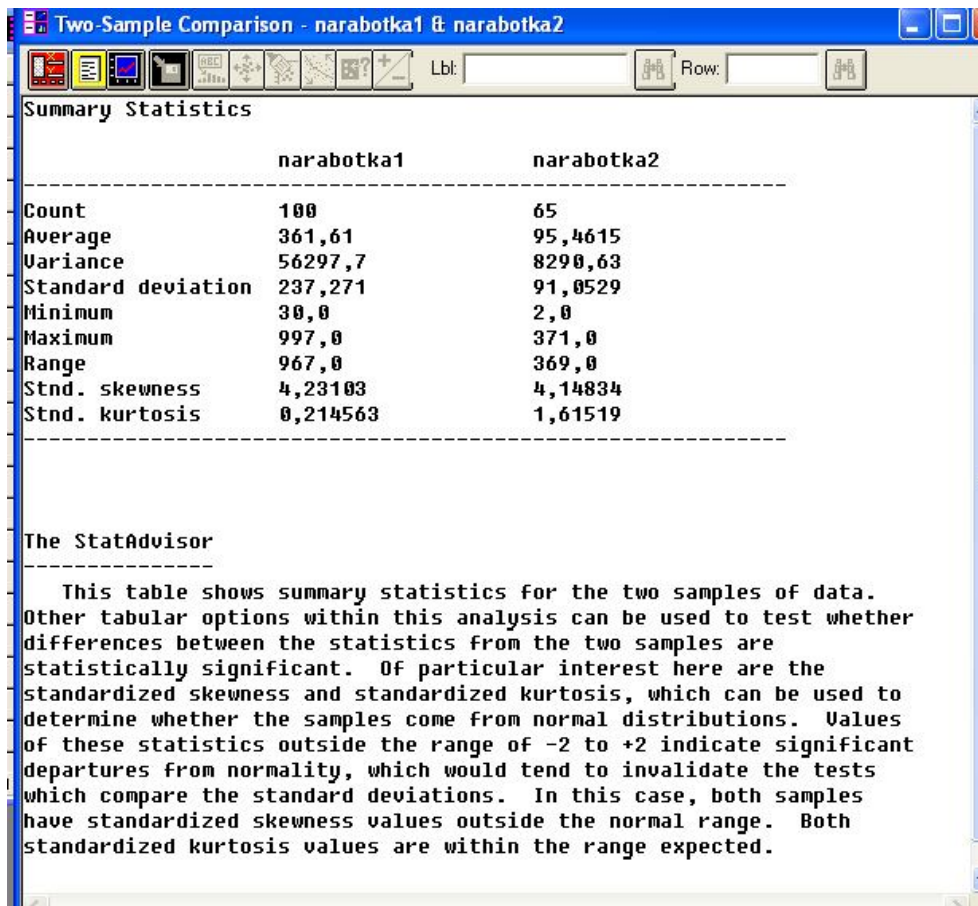
Довжини змінних *narabotka 1* і *narabotka 2* відповідно рівні 100 і 65, що відповідає кількості чисел у таблиці 3.2 і 3.4.

2. *Визначення статистичних показників для кожного набору даних, що втримуються в змінних OTKAZ.narabotka1 і OTKAZ.narabotka2.*

Натискання кнопки Statwizard  одержимо:



Це приведе до розрахунків необхідних характеристики й виводу їх на екран у наступному виді:



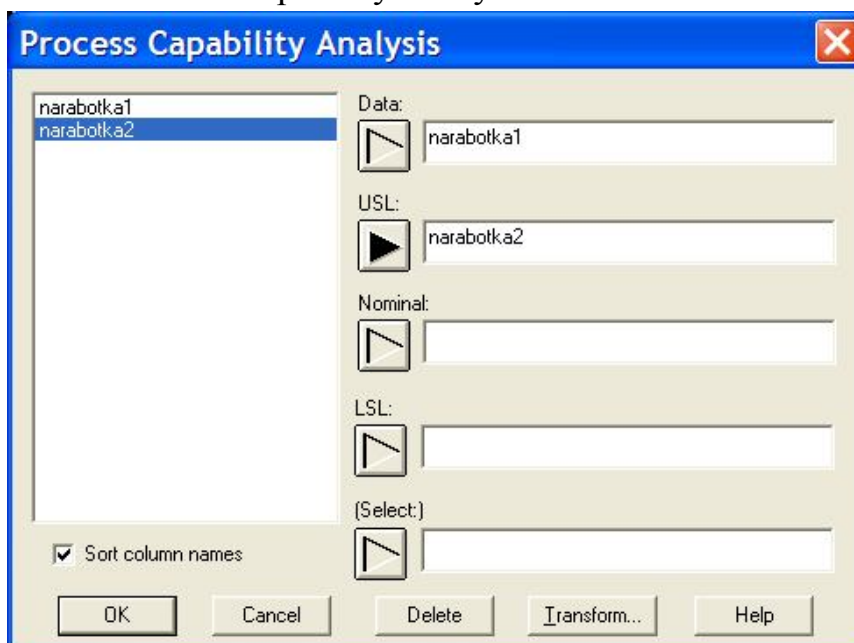
	Narabotka 1	Narabotka 2
Розмір вибірки	100	65
Середнє значення	361,61	95,4615
Стандартне відхилення	237,271	91,0529
Мінімум	30	2
Максимум	997	371
Розмах	967	369

Звідси випливає, що для першого набору вихідних даних середній наробіток до першої відмови приблизно рівна $T_1=362$ години, а для другого набору середній наробіток на відмову рівна $T_2 = 95$ годин. У першому випадку розподіл часу роботи елемента між відмовами явно відрізняється від експонентного, тому що стандартне відхилення $s_1= 237$ суттєво відрізняється від середнього наробітку на відмову. У другому випадку стандартне відхилення $s_2=91$ досить близько до середнього наробітку до відмови, що свідчить про можливу близькість розподілу до експонентного.

Бачимо також, що для першого набору даних усі реалізації випадкового наробітку до відмови перебувають в інтервалі $[30; 997]$, і розмах вибірки рівний 967 годин. Для другого набору даних усі вибіркові значення втримуються в інтервалі $[2; 371]$ довжиною 369 годин.

3.3.5 Визначення показників надійності неремонтованого елемента

Натисканням кнопки Capability Analysis 



Заповнимо поля Data і USL. В Analysis Options контекстного меню виберемо пункт Gamma одержимо гістограму частот, що й вирівнює її **функції** щільності Гамма-розподілу (рис. 3.5).

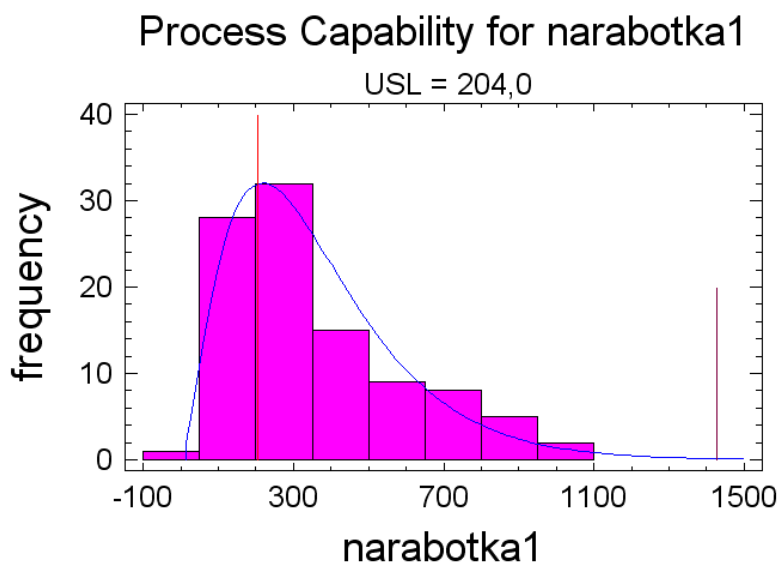
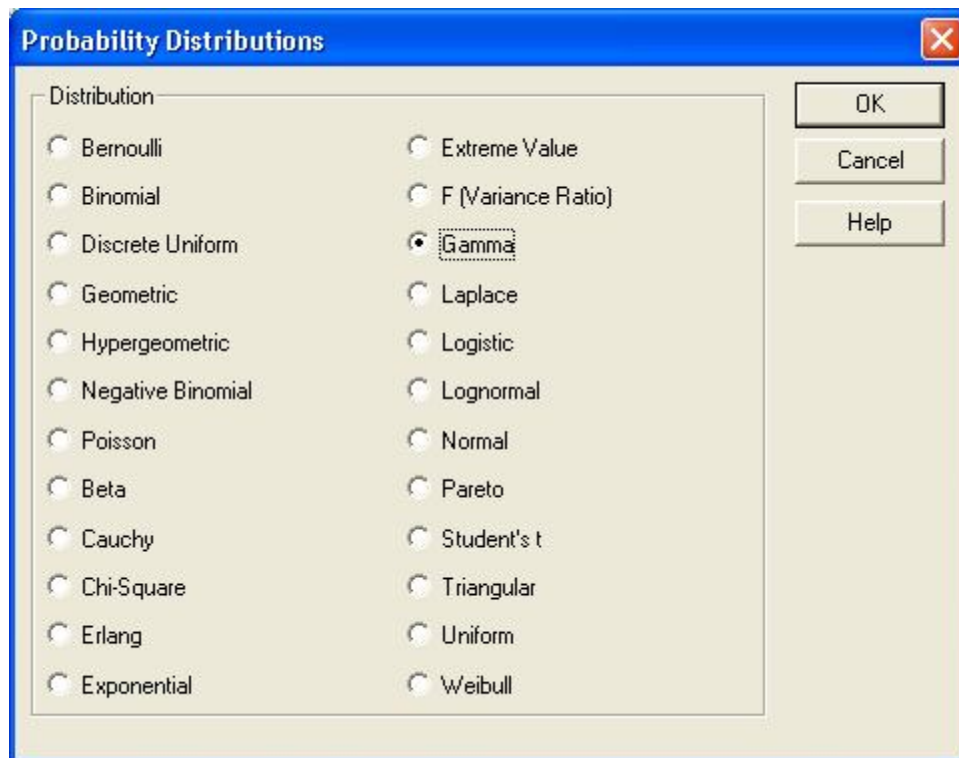


Рисунок 3.5 – Добір щільності розподілу до гістограми частот

Рівень значимості для Гамма-розподілу рівний 0,728906. Тому що це значення більше необхідного 0,05, то Гамма-розподіл узгодиться з експериментальними даними.

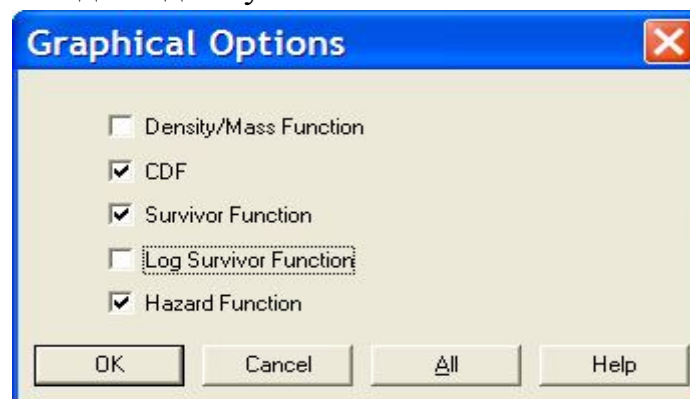
У пункті меню Describe\Distributions\Probability Distributions побудуємо графіки необхідних показників надійності відповідно до розрахованих раніше параметрів.

Як приклад для змінної narabotka1 підберемо Гамма-розподіл.



Виберемо пункт Gamma.

У вікні Probability Distributions розкриємо допоміжне меню Graphical Options і відзначимо відповідні пункти:



Пункти допоміжного меню означають наступне:

Density function — щільність розподілу $w(t)$;

Cumulative d.f. — функція розподілу $Q(t)$;

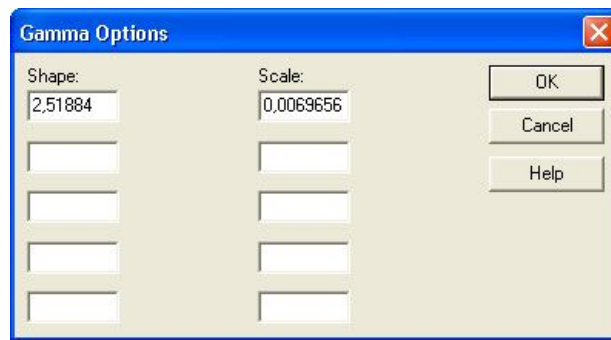
Survivor function — імовірність безвідмовної роботи $P(t)$;

Log survivor function — логарифм імовірності безвідмовної роботи;

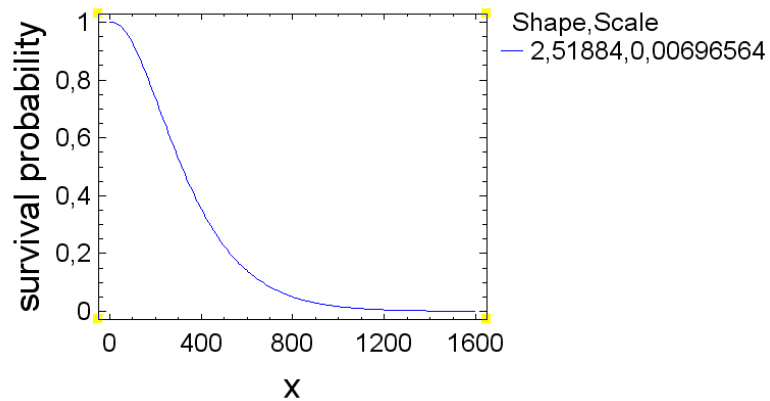
Hazard function — інтенсивність відмов $\lambda(t)$.

У результаті вибору того або іншого пункту меню одержимо графіки, зображені на рисунку 3.6 – 3.8.

В Analysis Options контекстного меню введемо значення Shape і Scale.



Gamma Distribution



Gamma Distribution

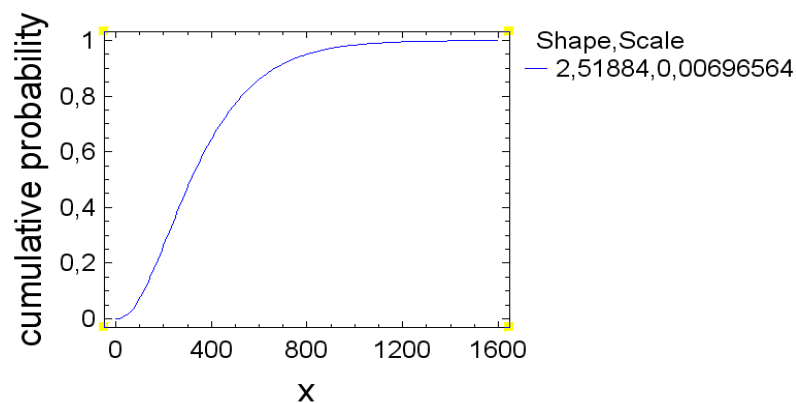


Рисунок 3.7 – Імовірність відмови елемента $Q(t)$

Gamma Distribution

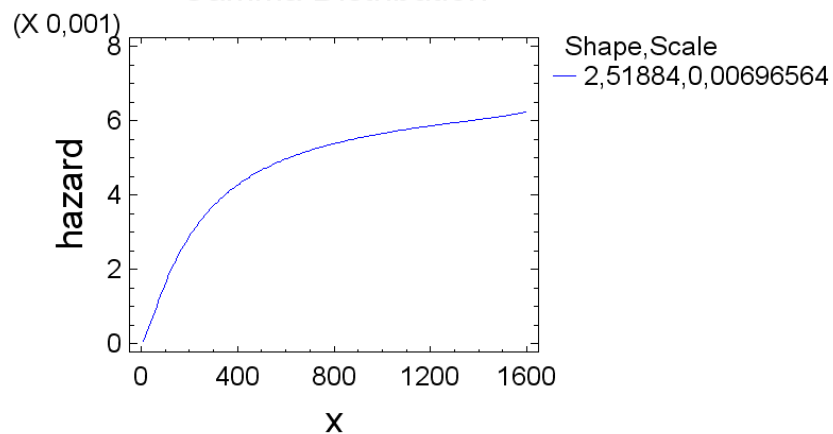


Рисунок 3.8 – Інтенсивність відмов елемента $\lambda(t)$

3.3.6 Визначення показників надійності ремонтovanого елемента

У вікні Probability Distributions розкриємо допоміжне меню Graphical Options, зробимо перебір 5 різних розподілів і виберемо найбільш підходяще за рівнем значимості. Як приклад розглянемо експонентний розподіл.

Гістограма по наробітках2 і відповідна крива експонентного розподілу наведені на рисунку 3.9. Рівень значимості для експонентного розподілу рівний 0,284492, що більше заданого рівня значимості, рівного 0,05. Отже, експонентний розподіл не суперечить експериментальним даним.

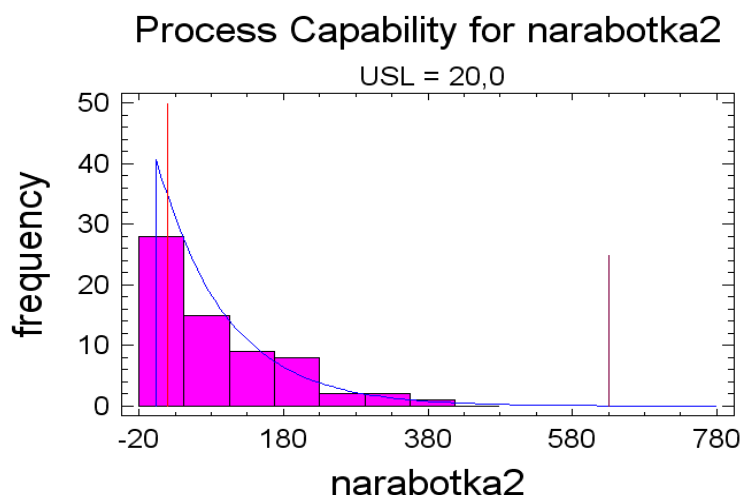
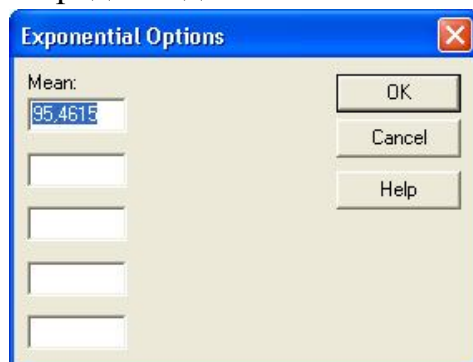


Рисунок 3.9 – Добір щільності розподілу $w(t)$ до гістограми частот

У пункт Analysis Options контекстного меню введемо наступні параметри експонентного розподілу: середнє відхилення = 95.4615



Відповідно до зазначених параметрів у пункті меню Describe\Distributions\Probability Distributions будуються графіки необхідних показників надійності.

На рисунках 3.10. і 3.11 зображені графіки функцій розподілу й інтенсивності відмов відповідно.

Середній наробіток на відмову дорівнює $T = 95,4615$ годин

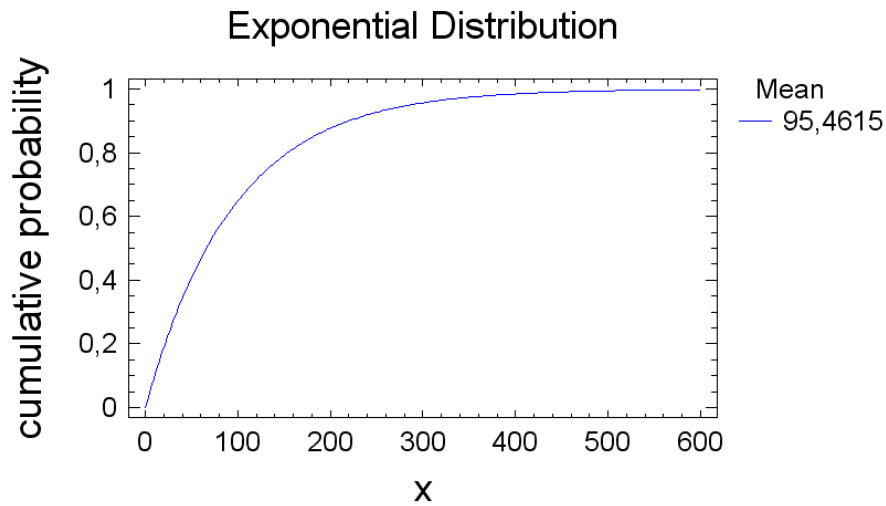


Рисунок 3.10 – Функція розподілу часу роботи елемента між відмовами $F(t)$

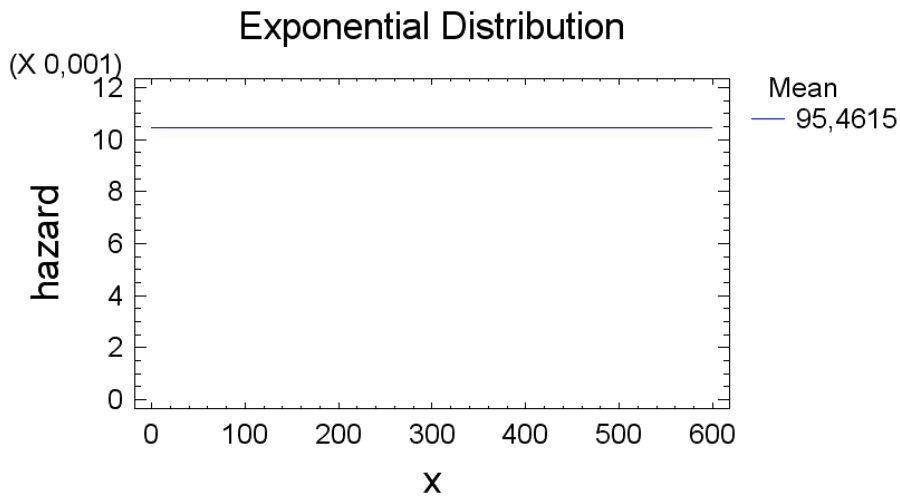


Рисунок 3.11 – Інтенсивність відмов елемента $\lambda(t)$

3.3.7 Обробка статистичних даних

Розмах варіювання:

$$h = t_{\max} - t_{\min} = 997 - 30 = 967$$

Розіб'ємо розмах варіювання на k інтервалів:

$$k < 1 + 3.3 \lg N,$$

$$5 < k < 20,$$

$$k = 1 + 3.3 \lg 100 = 7$$

де N -Число елементів вибірки. $N=100$

Довжина інтервалу:

$$\Delta h = \frac{h}{k} = \frac{967}{7} = 138,14$$

Кількість відмов вибірки, що потрапили в і-ий інтервал:

$$[30;168) : n_1 = 24;$$

$$[168;306) : n_2 = 29;$$

$$[306;444) : n_3 = 20;$$

$$[444;582) : n_4 = 7;$$

$$[582;720) : n_5 = 7;$$

$$[720;858] : n_6 = 8;$$

$$(858;997] : n_7 = 5;$$

Усі інтервали задовольняють умові $n \geq 5$, отже, об'єднання інтервалів не потрібно.

$$W_i = \frac{n_i}{N}$$

$$W_1 = 0,24; W_2 = 0,29; W_3 = 0,2; W_4 = 0,07; W_5 = 0,07; W_6 = 0,08; W_7 = 0,05.$$

Щільність розподілу наробітку до відмови:

$$\omega_i(t) = \frac{W_i}{\Delta h} = \frac{W_i}{138,14}$$

$$\omega_1(t) = 0.001737;$$

$$\omega_2(t) = 0.002099;$$

$$\omega_3(t) = 0.001448;$$

$$\omega_4(t) = 0.000507;$$

$$\omega_5(t) = 0.000507;$$

$$\omega_6(t) = 0.005791;$$

$$\omega_7(t) = 0.000362.$$

Інтенсивність відмови в момент t :

$$\lambda_i^*(t) = \frac{n_i}{(N - n_{i-1}) \cdot \Delta h}$$

$$\lambda_2^*(t) = \frac{29}{(100 - 24) \cdot 138,14} = 0,0027622;$$

$$\lambda_3^*(t) = \frac{20}{(100 - 29) \cdot 138,14} = 0,0020391;$$

$$\lambda_4^*(t) = \frac{7}{(100 - 20) \cdot 138,14} = 0,0006334;$$

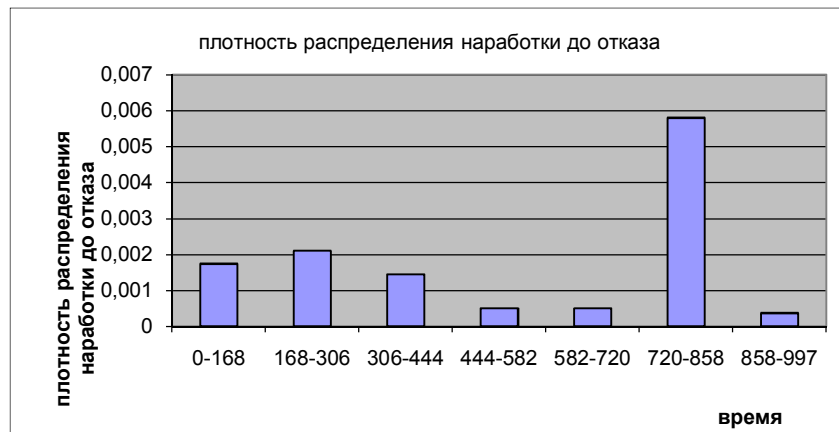
$$\lambda_5^*(t) = \frac{7}{(100 - 7) \cdot 138,14} = 0,0005449;$$

$$\lambda_6^*(t) = \frac{8}{(100 - 7) \cdot 138,14} = 0,0006227;$$

$$\lambda_7^*(t) = \frac{5}{(100 - 8) \cdot 138,14} = 0,0003934.$$

Гістограми:

а)



б)

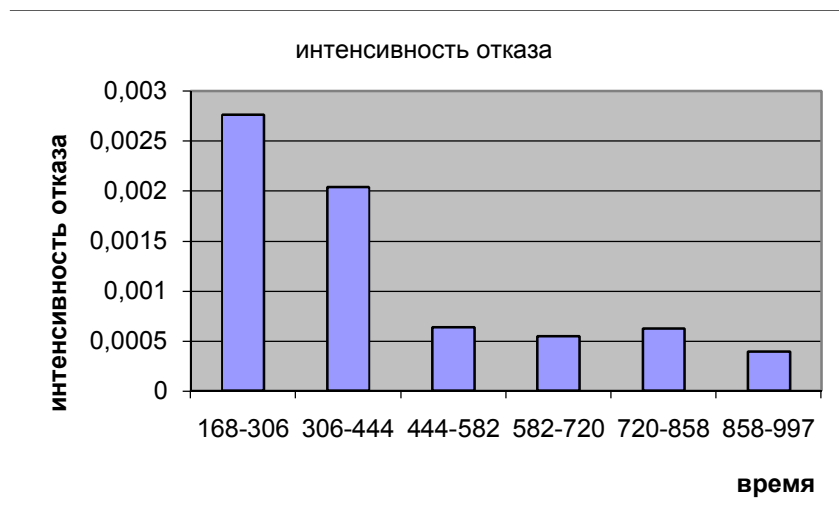


Рисунок 3.12 – Гістограми: а – щільність розподілу напрацювання до відмови; б – інтенсивність відмови

3.3.8 Форма звіту

За результатами виконаної роботи представляється звіт, у якому повинні втримуватися наступні пункти:

1. Постановка завдання з конкретним змістом, сформульованим для свого варіанта. Вихідні дані повинні бути представлені у вигляді таблиць 3.2 і 3.3.
2. Дані другого набору представляються у вигляді таблиці 1.4.
3. Статистичні дані розбити вручну на групи й побудувати гістограми без застосування програми Statgraphics.
4. Виконати завдання в програмі Statgraphics. Для цього необхідно вказати ім'я файлу й імена змінних, у яких утримуються «експериментальні» дані, привести формули для розрахунків необхідних статистичних показників, числові значення й зміст цих показників, надати результати угруповання даних у вигляді таблиці розподілу частот, привести гістограми частот, отриманих в Statgraphics.
5. Перебір п'яти розподілів, включаючи задане, і вибір серед них найбільш

підходящого до «експериментальних» даних за критерієм χ^2 – квадрат, графічне зображення гистограми й усіх розглянутих кривих розподілів.

6. Виводи за результатами досліджень.

У роботі слід указати назви процедур Statgraphics, використовуваних при виконанні кожного пункту.

3.3.9 Варіанти завдань

Вихідні дані:

- 1 Два набори вихідних даних про відмови елементів.
- 2 N – число елементів у кожному наборі.
- 3 Закон розподілу часу до відмови в першому варіанті.
- 4 Закон розподілу часу між відмовами в другому варіанті.
- 5 Моменти відмови елементів.

Визначити:

1 Показники надійності елемента, що характеризують час його між відмовами (другий набір вихідних даних): T_l , $P(t)$, $Q(t)$, $w(t)$, $\chi(t)$.

2 Показники надійності елемента, що характеризують час його роботи між відмовами (другий набір вихідних даних): T_l , $F(t)$, $w(t)$, $\chi(t)$.

Розв'язок одержати у вигляді таблиць і графіків.

При обробці даних вручну й на комп'ютері їх слід розібрати 10 груп (класів). Добір підходящого розподілу необхідно встановити для рівня значимості, рівного 0,05.

ВАРІАНТ 1

Перший набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

1155	1147	1126	1139	1137	1132	1120	1165	1163	1156
1142	1143	1138	1144	1149	1145	1157	1152	1145	1140
1140	1145	1169	1148	1121	1135	1152	1138	1128	1161
1140	1149	1149	1123	1141	1164	1145	1131	1157	1123
1136	1146	1140	1130	1147	1108	1122	1133	1115	1165
1166	1137	1147	1137	1126	1143	1114	1109	1147	1135
1147	1148	1153	1146	1128	1145	1135	1147	1151	1151
1119	1145	1137	1149	1163	1141	1137	1137	1146	1133
1128	1123	1139	1134	1154	1149	1144	1166	1152	1159
1163	1112	1126	1146	1147	1149	1146	1127	1143	1154

Другий набір вихідних даних (Експонентний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 700 годин
1	37; 90; 279; 355; 360; 420; 466; 488; 627; 671
2	26; 77; 141; 532; 642; 661
3	53; 59; 164; 183; 316; 568; 607
4	22; 26; 134; 287; 356; 470; 472; 481
5	24; 40; 152; 412; 431; 486; 567; 630; 649
6	193; 216; 474; 488; 538; 616
7	86; 355; 415; 451
8	117; 157; 358; 462; 527; 673
9	74; 89; 356; 356; 420; 492; 497; 512; 548; 601
10	204; 276; 327; 515; 516; 544

ВАРІАНТ 2

Перший набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

2127	1162	1131	1111	4414	1291	1266	2122	2268	1168
9168	2126	2134	4116	7119	2113	2110	3123	1103	3192
3288	3289	2229	1261	9224	1282	4221	7229	1248	5228
3232	2263	1216	8253	5262	4243	2268	2272	3270	5202
7235	1220	2292	3263	1251	5220	4200	8219	3208	2116
2146	3121	5109	5147	4214	4156	1202	4104	3123	1122
2288	4225	6234	6210	1240	8238	~171	1263	1208	8214
9236	1100	7137	3196	2158	5110	3127	2146	1166	2158
1103	3218	6218	5217	2238	3212	2232	3233	1130	1151
4154	2186	1197	2136	3113	1115	1111	1138	2116	2168

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 600 годин
1	107; 201; 295; 397; 515
2	95; 213; 320; 403; 483; 568
3	97; 196; 282; 399; 504; 584
4	109; 216; 328; 422; 528
5	112; 226; 310; 417; 524
6	103; 195; 300; 392; 480 570
7	93; 178; 268; 375; 494
8	93; 203; 312; 393; 488 581
9	119; 210; 293; 408; 518
10	102; 220; 334; 439; 537

ВАРІАНТ 3

Перший набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

221	370	84	97	196	475	426	151	72	133
282	97	321	315	107	108	156	597	241	210
107	37	176	197	182	467	146	97	244	54
91	255	169	149	256	53	283	103	468	38
369	305	209	227	276	351	244	216	382	430
204	306	163	159	221	235	126	106	670	72
80	466	93	60	123	706	112	236	298	49
277	155	83	67	298	168	30	210	178	275
86	161	397	508	334	252	582	24	427	139
559	138	405	187	229	107	167	519	226	247

Другий набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 600 годин
1	110; 211; 296; 408; 512; 584
2	80; 167; 239; 336; 435; 523
3	113; 206; 292; 370; 466; 588
4	123; 211; 301; 397; 502
5	79; 197; 296; 377; 457; 538
6	132; 224; 302; 383; 486; 570
7	86; 185; 312; 390; 471; 576
8	106; 195; 265; 350; 431; 537
9	83; 176; 253; 328; 407; 511; 595
10	130; 232; 371; 442; 539

ВАРІАНТ 4

Перший набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

156	161	145	122	180	190	153	174	163	133
135	156	176	160	163	150	157	156	136	168
176	155	165	140	165	160	138	181	183	182
165	175	153	131	180	168	149	156	173	156
148	133	154	149	152	150	188	163	145	142
169	163	174	135	154	183	172	136	166	157
157	182	174	162	173	191	165	146	151	163
175	167	141	163	142	143	167	149	142	173
149	148	150	154	149	178	145	168	176	170
158	140	152	162	163	148	184	159	143	163

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 500 годин
1	105; 208; 323; 414
2	113; 216; 331; 433
3	111; 192; 272; 363; 453
4	110; 209; 314; 426
5	85; 192; 301; 393; 480
6	87; 174; 292; 381; 479
7	102; 195; 314; 404
8	94; 190; 275; 363; 449
9	218; 230; 331; 433
10	105; 219; 310; 408

ВАРІАНТ 5

Перший набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

65	266	138	87	219	466	71	286	107	349
106	231	169	219	387	82	63	92	104	96
54	243	702	245	128	153	260	448	220	326
550	210	124	293	209	473	114	228	194	334
220	29	270	481	499	854	533	606	133	174
426	212	395	199	412	182	153	109	156	65
174	142	374	170	97	52	434	392	197	356
23	200	35	286	352	53	544	198	111	.93
361	409	393	20	296	409	42	73	138	515
223	345	79	98	51	25	188	194	88	106

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 700 годин
1	86; 194; 299; 406; 505; 619
2	119; 221; 333; 438; 528; 643
3	86; 200; 295; 389; 496; 600
4	107; 188; 286; 385; 501; 612
5	82; 185; 294; 392; 510; 591; 675
6	117; 234; 340; 425; 516; 613; 695
7	210; 202; 318; 414; 503; 597
8	104; 197; 310; 429; 534; 622
9	109; 196; 289; 395; 510; 619
10	83; 193; 309; 419; 507; 592; 683 -

ВАРІАНТ 6

Перший набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

188	297	644	136	728	194	312	389	387	153
191	332	988	177	132	127	100	137	224	174
975	164	798	182	115	687	165	113	244	847
199	227	118	124	112	986	196	150	319	349
423	1121	224	163	945	789	960	158	377	747
139	154	728	129	197	241	282	152	161	228
171	458	189	381	580	177	986	156	347	277
163	355	347	180	241	256	239	128	862	189
292	221	254	953	253	515	474	588	434	167
240	757	149	178	380	344	546	761	127	271

Другий набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 500 годин
1	94; 181; 278; 365; 478
2	87; 168; 261; 353; 468
3	123; 211; 336; 412
4	93; 194; 280; 357; 459
5	80; 175; 266; 365; 493
6	113; 230; 346; 430
7	88; 191; 295; 400
8	74; 187; 286; 405; 478
9	79; 187; 308; 400; 476
10	123; 206; 333; 464

ВАРІАНТ 7

Перший набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

226	649	453	364	340	321	545	497	149	293
295	323	613	257	584	226	277	923	222	764
583	725	690	476	281	1395	230	273	122	292
191	460	444	755	618	235	219	125	367	124
416	293	290	112	138	445	144	176	934	547
538	143	363	594	116	369	127	688	219	175
233	745	223	466	380	532	230	141	256	996
134	478	180	658	149	643	155	296	280	346
205	495	508	134	314	244	287	579	343	272
199	243	774	790	419	1102	733	637	1412	354

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 900 годин
1	98; 209; 295; 392; 502; 592; 691; 806
2	111; 197; 292; 405; 509; 590; 704; 788; 877
3	105; 218; 313; 397; 485; 570; 656; 766; 870
4	105; 218; 335; 419; 532; 618; 698; 792
5	95; 196; 292; 372; 452; 534; 653; 745; 829
6	99; 208; 293; 390; 478; 561; 669; 773; 860
7	103; 211; 326; 406; 515; 624; 722; 822
8	108; 205; 299; 412; 501; 612; 731; 812; 892
9	88; 191; 278; 360; 443; 539; 644; 750; 854
10	80; 177; 277; 365; 476; 564; 661; 775; 887

ВАРІАНТ 8

Перший набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

936	285	116	367	247	237	456	155	141	157
142	233	135	996	298	180	229	440	150	124
173	123	111	161	111	269	874	245	390	129
149	574	131	745	334	254	417	634	423	178
845	116	267	369	698	190	764	295	108	234
723	119	877	132	119	259	987	484	155	139
253	234	135	156	220	223	198	412	449	186
151	853	155	943	545	429	165	344	277	124
326	245	381	279	491	535	945	558	158	487
386	140	195	151	166	276	679	120	575	225

Другий набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 900 годин
1	73; 169; 282; 341; 425; 540; 663; 777
2	73; 147; 213; 305; 372; 461; 569; 666; 768; 873
3	109; 200; 286; 402; 480; 575; 718; 797; 871
4	112; 197; 286; 380; 486; 564; 665; 782; 889
5	92; 187; 260; 355; 476; 567; 668; 760; 865
6	88; 191; 313; 419; 533; 609; 700; 797
7	110; 221; 369; 448; 529; 643; 772; 887
8	94; 182; 280; 340; 436; 534; 638; 750; 875
9	99; 202; 274; 365; 441; 526; 643; 742; 825; 899
10	101; 193; 288; 419; 542; 635; 716; 799; 881

ВАРІАНТ 9

Перший набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

350	244	69	234	145	196	389	23	251	127
226	118	219	204	120	180	406	182	74	240
206	257	181	104	130	341	245	59	226	161
147	71	219	361	162	112	67	182	34	76
143	67	119	190	281	437	226	37	41	148
228	37	296	51	254	44	190	143	795	117
191	14	392	157	16	23	89	346	33	47
377	319	258	37	68	235	385	128	111	640
136	224	174	61	35	71	345	132	197	35
331	83	97	178	328	194	П78	120	106	109

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 600 годин
1	104; 200; 287; 373; 477; 586
2	96; 198; 314; 399; 513
3	81; 165; 277; 375; 475; 562
4	111; 226; 312; 413; 530
5	111; 209; 322; 406; 516; 596
6	83; 198; 288; 384; 468 565
7	99; 215; 317; 415; 506
8	84; 200; 316; 431; 516
9	109; 218; 330; 435; 536
10	85; 172; 271; 386; 496

ВАРІАНТ 10

Перший набір вихідних даних (Експонентний розподіл):

55	87	105	18	386	187	118	227	65	89
106	42	186	113	147	306	202	168	44	563
173	119	41	57	86	59	38	151	348	41
165	395	185	382	67	351	16	540	41	31
96	468	37	19	263	58	267	443	260	130
116	211	243	225	77	175	276	762	634	436
341	670	23	41	89	486	137	18	55	139
412	362	120	346	29	34	21	123	140	89
162	567	117	34	73	44	123	32	82	113
176	137	49	190	133	598	115	656	178	167

Другий набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 1000 годин
1	115; 222; 328; 406; 486; 594; 696; 801; 896; 977
2	91; 215; 316; 411; 484; 603; 687; 797; 878
3	89; 175; 266; 360; 468; 604; 695; 813; 895
4	85; 170; 258; 382; 470; 579; 658; 739; 819; 920
5	115; 222; 327; 436; 550; 634; 732; 811; 933
6	86; 164; 247; 366; 495; 588; 713; 816; 939
7	105; 205; 290; 409; 473; 580; 680; 773; 869; 969
8	99; 199; 315; 430; 527; 650; 762; 844; 945
9	105; 220; 311; 389; 478; 563; 661; 734; 855; 968
10	106; 184; 284; 395; 490; 593; 697; 779; 922

ВАРІАНТ 11

Перший набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

134	126	130	98	172	140	99	141	91	111
119	95	123	173	122	150	88	14	170	137
130	121	121	155	144	124	127	140	150	139
89	116	88	94	110	131	169	81	86	121
175	163	150	17	128	148	133	12.1	128	97
142	111	174	108	122	118	83	118	19	176
105	172	132	125	150	115	177	93	141	133
165	82	86	117	165	147	13	169	88	138
80	126	84	170	106	113	92	96	154	114
154	165	160	172	162	114	168	82	128	95

Другий набір вихідних даних (Експонентний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 700 годин
1	1; 1; 63; 75; 133; 356; 363; 403; 417
2	126; 240; 557
3	40; 72; 216; 220; 267; 305; 313; 474; 493
4	43; 234; 248; 431; 433; 583; 668; 680
5	35; 56; 70; 81; 225; 558; 568
6	18; 93; 121; 130; 229; 313; 461; 474; 532; 572; 603; 610
7	113; 375; 401; 479; 659
8	138; 163; 421; 479; 500; 636; 638; 671
9	222; 261; 404; 533; 568
10	55; 96; 111; 148; 252; 281; 633

ВАРІАНТ 12

Перший набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

975	12	162	130	124	146	113	П54	112	119
127	124	133	137	132	111	138	112	126	133
124	117	135	120	147	924	130	137	130	974
121	113	124	123	127	143	108	995	Н67	116
139	118	120	120	146	121	130	118	128	117
113	984	113	120	114	974	130	124	130	121
119	126	113	116	П56	147	128	141	129	122
122	129	140	140	952	113	128	121	113	103
119	136	120	934	120	966	114	И37	119	129
132	113	127	143	124	103	178	118	897	116

Другий набір вихідних даних (Експонентний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 800 годин
1	112; 193; 247; 249; 284; 439
2	162; 255; 290; 317; 388; 456; 460; 661; 765
3	53; 335; 390; 401; 445; 610; 623; 792
4	73; 139; 140; 188; 204; 332; 555; 631
5	103; 165; 227; 513; 592; 718; 791
6	43; 158; 688; 792
7	17; 26; 339; 484; 529
8	27; 71; 203; 253; 281
9	216; 318; 669
10	146; 146; 240; 315; 543; 648

ВАРІАНТ 13

Перший набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

120	221	151	212	445	575	411	415	152	750
123	130	235	875	147	316	613	745	251	319
120	145	120	309	432	243	649	158	344	789
247	197	623	254	655	723	696	267	997	326
128	130	158	462	346	294	120	30	165	215
232	186	938	146	518	248	177	848	127	198
239	450	216	559	239	560	263	144	139	261
378	289	768	310	413	351	141	292	319	969
56	877	357	265	796	584	243	394	614	146
422	255	360	360	824	114	242	396	166	224

Другий набір вихідних даних (Експонентний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 700 годин
1	204; 221; 345; 376; 537; 697
2	2; 39; 71; 104; 118; 213; 544; 596; 608; 657
3	138; 314; 387; 467; 471; 556; 699
4	8; 11; 52; 94* 192; 476; 491; 527; 655
5	106; 168; 325; 360; 690
6	192; 207; 217; 362; 426
7	225; 440; 618; 657; 667
8	371; 420; 500
9	85; 371; 568; 579; 611; 625; 663
10	80; 111; 152; 162; 369; 394; 462; 551

ВАРІАНТ 14

Перший набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

1102	133	1204	136	1109	171	167	159	176	153
126	177	128	118	127	8234	107	120	155	165
171	159	159	136	1405	142	9446	9345	176	127
108	161	1306	169	151	116	8546	125	119	178
164	111	145	1306	151	1203	148	1103	112	158
П56	120	173	136	126	160	834	124	139	1101
1405	120	9154	129	9554	9565	936	127	9322	1320
4582	8433	9345	9347	9450	1467	1322	389	9333	3157
170	1635	1124	1453	1705	996	9565	1155	4193	3134
1386	6119	9658	9561	1313	1339	8344	1675	8546	1275

Другий набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 700 годин
1	106; 208; 279; 390; 488; 582; 656
2	98; 186; 304; 377; 477; 539; 622
3	100; 217; 337; 467; 584; 670
4	121; 217; 290; 397; 473; 595
5	100; 212; 301; 385; 480; 605; 694
6	131; 213; 292; 393; 481; 564; 688
7	130; 229; 309; 440; 521; 601; 690
8	87; 196; 297; 403; 499; 610
9	117; 236; 351; 428; 507; 594
10	103; 205; 295; 402; 516; 603

ВАРІАНТ 15

Перший набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

992	9143	1304	1143	973	913	993	1301	993	953
1309	983	1193	843	1302	1203	1307	973	1103	1302
883	993	939	1304	1303	П43	936	835	1309	893
793	1300	1311	1303	839	932	1309	3344	9331	836
1342	9340	1302	931	839	953	9833	8733	1317	1300
953	983	973	1307	930	1123	853	1301	943	873
993	933	1304	930	9303	1309	893	935	1302	883
1300	983	933	1304	1307	983	1304	1123	1300	1305
1315	1313	333	П345	9333	9421	8223	1200	9423	1232
9210	9234	1302	П211	9234	9231	9233	8327	1315	9373

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 600 годин
1	104; 197; 304; 422; 511; 597
2	86; 184; 300; 382; 492; 595
3	106; 218; 312; 395; 493; 573
4	94; 200; 302; 409; 498; 589
5	117; 213; 316; 433; 516
6	94; 186; 293; 401; 507
7	90; 188; 272; 379; 478; 577
8	104; 210; 309; 412; 506; 588
9	99; 194; 300; 419; 530
10	109; 227; 331; 426; 524

ВАРІАНТ 16

Перший набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

164	824	935	157	1402	1406	924	163	165	942
118	176	118	142	1401	1402	177	155	175	131
176	1405	854	126	113	944	1409	159	834	964
148	133	145	127	146	139	155	144	984	940
101	1406	116	854	165	123	874	147	170	1402
112	854	1407	124	164	116	125	166	139	115
172	934	144	112	156	144	984	111	137	128
884	153	1408	161	162	964	167	148	940	127
150	162	814	864	128	1408	894	120	133	120
914	141	112	944	177	1406	438	1401	132	924

Другий набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді часу 1000 годин
1	118; 202; 326; 434; 505; 610; 712; 791; 901; 984
2	96; 173; 304; 405; 524; 643; 741; 853; 940
3	116; 197; 269; 381; 483; 587; 687; 804; 923
4	111; 182; 293; 438; 545; 639; 751; 845; 978
5	76; 185; 286; 390; 492; 579; 664; 748; 822; 898
6	111; 239; 360; 469; 555; 652; 739; 824; 923
7	131; 223; 344; 444; 551; 674; 792; 917
8	92; 185; 283; 372; 499; 585; 711; 808; 904
9	95; 186; 273; 353; 447; 568; 689; 793; 865; 944
10	79; 190; 324; 408; 485; 591; 665; 776; 855; 930

3.4 Завдання №4.

Тема: «ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ Й РИЗИКУ НЕРЕЗЕРВОВАНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ»

3.4.1 Постановка завдання

Вихідні дані:

– структурна схема системи у вигляді основного (послідовного в змісті надійності) з'єднання елементів;

n – число елементів системи;

λ_i – інтенсивність відмови i -го елемента системи, $i = 1, 2, \dots, n$;

r_i – ризик через відмову i -го елемента системи, $i = 1, 2, \dots, n$;

R – припустимий ризик;

T – сумарний час роботи системи.

Визначити:

– У показники надійності системи:

$P_c(t)$ – імовірність безвідмовної роботи системи протягом часу t , а

також її значення при $t = T$ і $t = T_l$

T_l – середній час безвідмовної роботи системи;

$R_c(t)$ – ризик системи як функцію часу; значення ризику при $t = T$ і $t = T_l$

– можливість розрахунків ризику по наближеній формулі.

Варіанти завдань наведені далі в розділі 2.5.

3.4.2 Відомості з теорії

Основними показниками надійності нерезервованої невідновлюваної системи є: $P_c(t)$ — імовірність безвідмовної роботи системи протягом часу t , T_1 — середній час безвідмовної роботи. При постійних інтенсивностях відмов елементів

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t}, T_1 = \frac{1}{\lambda_c}$$

де $\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ - інтенсивність відмови системи.

Ризик системи $R_c(t)$ і $R_c^*(t)$ обчислюються по наступних формулах

$$R_c(t) = \frac{Q_c(t)}{\lambda_c} \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i,$$

$$R_c^*(t) = \sum_{i=1}^n q_i(t) r_i,$$

$$G_R(t, n) = \frac{R_c(t)}{R_c^*(t)} = \frac{1 - e^{-n\lambda t}}{n(1 - e^{-\lambda t})}.$$

$$\lim_{t \rightarrow 0} G_R(t, n) = 1, \lim_{t \rightarrow \infty} G_R(t, n) = \frac{1}{n}$$

Це означає, що зі збільшенням тривалості часу роботи системи погіршність наближеної формули збільшується.

3.4.3 Послідовність виконання роботи

Практичне завдання слід виконувати в такій послідовності:

1. Обчислити показники надійності системи $P_c(t)$ і T_1 . Значення ймовірності безвідмовної роботи $P_c(t)$ слід одержати при $t = T$ и $t = T_1$..

2. Досліджувати функцію ризику системи по точній формулі (2.1), для чого:

- одержати формулу ризику для заданих n , λ_i , r_i .
- досліджувати залежність $R_c(t)$, представивши функцію у вигляді графіка й таблиці;
- обчислити значення ризику для вихідних даних свого варіанта при $t = T$ и $t = T_1$.

3. Досліджувати залежність $GR(t, n)$ при допущенні, що елементи системи рівнонадійні й інтенсивність відмови кожного елемента рівна їхньої середньої інтенсивності відмов, тобто

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

4. Зробити висновки.

За результатами лабораторної роботи представляється звіт, у якому

обов'язковими є наступні пункти:

- Постановка завдання.
- Розрахункові формули.
- Чисельні значення показників надійності й ризику досліджуваної системи.
- Значення часу безперервної роботи системи, при якому забезпечується необхідне значення ризику.
- Графіки й таблиці функцій ризику.
- Виводи за результатами досліджень.

3.4.4 Приклад виконання практичного завдання

Нехай дана система з наступними вихідними даними:

- число елементів системи $n = 10$;
- час безперервної роботи $T = 1000$ година;
- припустимий ризик $R = 5000$ усл. ед.

Значення ризику й інтенсивностей відмов елементів наведені в таблиці 4.1.

Далі приводиться послідовність виконання роботи. Дослідження будемо проводити за допомогою програми Microsoft Excel.

Таблиця 4.1- Вихідні дані прикладу

Вихідні дані прикладу

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda \cdot 10^{-5}$, час ⁻¹	1,2	0,8	0,5	1	1,5	0,6	0,09	0,05	1	1,5
r , усл. ед.	2000	300	8000	1000	1200	60	5000	6000	100	120

3.4.5 Визначення показників надійності системи

Інтенсивність відмов системи рівна:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Підставляючи в це вираження значення інтенсивностей відмов елементів з таблиці 4.1, одержимо: $\lambda = 8,24 \cdot 10^{-5} \text{ час}^{-1}$.

Тоді ймовірність і середній час безвідмовної роботи будуть рівні:

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t} = e^{-8,24 \cdot 10^{-5} t}, \text{ годин.}$$

$$T_1 = \frac{1}{\lambda_c} = 12316$$

$$\text{При } t = T = 1000 \text{ годин, } P_c(1000) = e^{-8,24 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3} = 0,92$$

$$\text{При } t = T_1 = 12316 \text{ годин, } P_c(12316) = e^{-8,24 \cdot 10^{-5} \cdot 12316} = 0,367$$

3.4.6 Визначення ризику системи по точній формулі

Спочатку потрібно ввести вихідні дані свого варіанта, тому що показано на рисунку 4.1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2	n=	10		λ=	1,2	0,8	0,5	1	1,5	0,6	0,09	0,05	1	1,5
3	T=	1000		r=	2000	300	8000	1000	1200	60	5000	6000	100	120
4	R=	5000												

Рисунок 4.1 – Введення вихідних даних

Примітка: дані можна вводити в будь-які комірки, але в даному тексті будуть використовуватися вказівки на ці конкретні комірки гнізда.

Обчислення інтенсивності відмов системи λ_c здійснюється так:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Тоді вибираємо комірку C8 і вводимо : =СУМ(E2:N2)*0,00001.

Для обчислення суми $\sum_{i=1}^n \lambda_i r_i$ необхідно одержати скалярний добуток векторів λ і r , для цього в комірці E5 уводимо: =E2*E3 повторюємо ці дії за всіма значеннями λ_i й r_i (діапазон гнізд від E5 до N5).

Далі обчислюємо $\sum_{i=1}^n \lambda_i r_i$. У комірку 310 вводимо:

$$=\text{СУМ}(E5:N5)*0,00001$$

Результатом ми одержимо наступне: (рис. 4.2)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2	n=	10		λ=	1,2	0,8	0,5	1	1,5	0,6	0,09	0,05	1	1,5
3	T=	1000		r=	2000	300	8000	1000	1200	60	5000	6000	100	120
4	R=	5000												
5				λ*r=	2400	240	4000	1000	1800	36	450	300	100	180
6														
7														
8		Σλ=	0,0000824											
9														
10		Σλ*r=	0,10506											

Рисунок 4.2 – Проміжний результат обчислень

Імовірність і середній час безвідмовної роботи дорівнюють:

$$T_1 = \frac{1}{\lambda_c}$$

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t} = e^{-8,24 \cdot 10^{-5} t}, \text{ год.}$$

Для обчислення T_1 у комірку H8 уводимо: =1/C8

Для обчислення $P_c(t)$ при $t = T$, у комірку K8 уводимо: =EXP(-C8*B3)

Для обчислення $P_c(t)$ при $t = T_1$, у комірку K9 уводимо: =EXP(-C8*H8)

Тепер необхідно знайти значення функції ризику при $t = T$ і $t = T_1$

$$\text{Функція ризику: } R_c(t) = \frac{Q_c(t)}{\lambda_c} \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i,$$

$$\text{Тому що } Q_c(t) = 1 - P_c(t) = 1 - e^{-\lambda_c t}, \quad \lambda_c = 8,24 \cdot 10^{-5}, \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i = 0,10506,$$

те відповідно до (2.1) функція ризику буде рівна:

$$R_c(t) = \frac{1 - e^{-8,24 \cdot 10^{-5} t}}{8,24 \cdot 10^{-5}} \cdot 0,10506,$$

Для обчислення $R_c(t)$ при $t = T$, у комірку K 10 вводимо:

$$=(1-\text{EXP}(-C8*B3))/C8*C10$$

Для обчислення $R_c(t)$ при $t = T_1$, у комірку K 11 вводимо:

$$=(1-\text{EXP}(-C8*H8))/C8*C10$$

Для $t = T_1 = 12136$ годин значення ризику $R_c(t) = 805,953$. З отриманих значень $R_c(t)$ можна бачити, що ризик досліджуваної системи нижче припустимого значення, рівного 5000 умовних одиниць.

Результатом ми одержимо наступне: (рис. 4.3)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N		
1							введите исходные данные:									
2	n=	10		λ=	1,2	0,8	0,5	1	1,5	0,6	0,09	0,05	1	1,5		
3	T=	1000		r=	2000	300	8000	1000	1200	60	5000	6000	100	120		
4	R=	5000														
5				λ*r=	2400	240	4000	1000	1800	36	450	300	100	180		
6																
7																
8		Σλ=	0,0000824				T1=	12135,92		P _c (T)=	0,920904					
9										P _c (T1)=	0,367879					
10		Σλ*r=	0,10506							R _c (T)=	100,848					
11										R _c (T1)=	805,9537					

Рисунок 4.3 – Проміжний результат обчислень

3.4.7 Дослідження функції ризику

Припускаючи, що всі елементи системи рівнонадійні, а інтенсивність відмови кожного елемента $\lambda = \frac{\lambda_c}{n} = 0,824 \cdot 10^{-5}$ година⁻¹ (знайдемо це значення підставивши в гніздо F14 формулу: =C8/B2), одержимо наступне вираження ризику:

$$R_c(t) = \frac{1 - e^{-n\lambda t}}{n\lambda} \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i = \frac{1 - e^{-0,824 \cdot 10^{-5} n t}}{0,824 \cdot 10^{-5} n} \cdot 10506 \cdot 10^{-5} = 12750 \cdot \frac{1 - e^{-0,824 \cdot 10^{-5} n t}}{n}.$$

Знайдемо залежність $R_c(t)$ при різних значеннях n у вигляді графіків і таблиць, використовуючи можливості Excel.

Спочатку введемо часовий діапазон t (рис. 4.4)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
16												
17												
18			№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
19			время t	0	1500	3000	4500	6000	7500	9000	10500	12000

Рисунок 4.4 – Проміжний результат обчислень із часовим діапазоном

Далі введемо в комірку D20 формулу знаходження $R_c(t)$ при n :

$$=(1-EXP(-\$B\$2*\$F\$14*D19))/\$B\$2/\$F\$14*\$C\$10$$

«розтягнемо» цю формулу по всьому діапазону часу t (гнізда D20:L20). см. мал 2.4.3.2

Уведемо в комірку D21 формулу знаходження $R_c(t)$ при $3n$:

$$=(1-EXP(-3*\$B\$2*\$F\$14*D19))/3/\$B\$2/\$F\$14*\$C\$10$$

«розтягнемо» цю формулу по всьому діапазону часу t (гнізда D21:L21). см. мал 2.4.3.2

Уведемо в комірку D22 формулу знаходження $R_c(t)$ при $5n$:

$$=(1-EXP(-5*\$B\$2*\$F\$14*D19))/5/\$B\$2/\$F\$14*\$C\$10$$

«розтягнемо» цю формулу по всьому діапазону часу t (гнізда D21:L21). дивись рисунок. 4.5

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
18			№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
19			время t	0	1500	3000	4500	6000	7500	9000	10500	12000	
20			$R_c(t)$ при n	0	148,240089	279,2448	395,018	497,3306	587,7477	667,6523	738,2666	800,6709	
21			$R_c(t)$ при $3n$	0	131,672665	222,5508	285,2732	328,5631	358,441	379,0622	393,2945	403,1175	
22			$R_c(t)$ при $5n$	0	117,549542	180,9113	215,0646	233,474	243,397	248,7457	251,6288	253,1829	

Рисунок 4.5 – Проміжний результат обчислень

З рядка 20 можна бачити, що ризик зростає зі збільшенням часу функціонування системи t . Так, наприклад, зі збільшенням з 1500 до 12 000 годин ризик збільшується приблизно з 150 до 800 умовних одиниць.

Побудуємо графік: (рис. 4.6).

- 1 пункт меню: вставка \ діаграма
- 2 вибираємо вид графіка
- 3 вибираємо діапазон: =Аркуш1!\$C\$20:\$L\$22
- 4 вісь x : t вісь y : $R_c(t)$
- 5 вихід

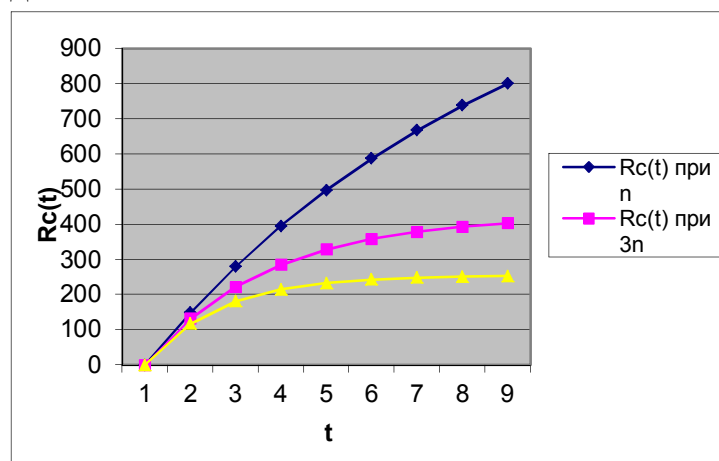


Рисунок 4.6 – Попередній результат обчислень

Примітка: якщо графік не явний те можна змінювати значення t (необхідно дотримувати обраного вами крок Δt) (рис. 4.7).

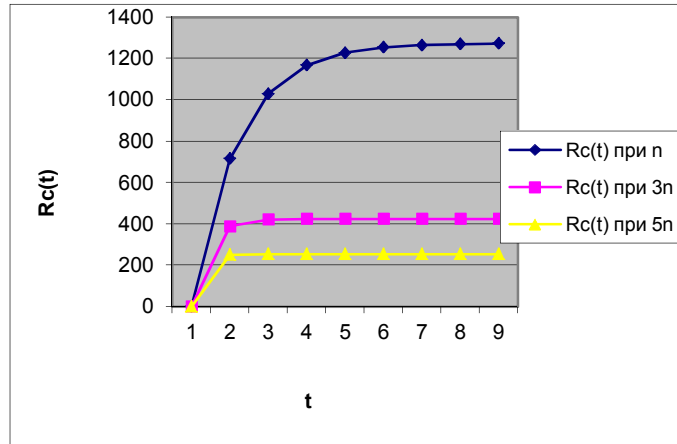


Рисунок 4.7 – $R_c(t)$ в діапазоні $t[0; 80000]$ з кроком $\Delta t = 10000$

Із графіка видно, що зі збільшенням часу t роботи системи техногенний ризик функціонування системи збільшується й при $t \rightarrow \infty$ прагне до постійної величини, рівної середнього значення ризику.

3.4.8 Визначення критичного часу роботи системи

Тому що $R_c(t)$ зростає з ростом t , те становить інтерес граничний час, вище якого ризик буде перевищувати припустиме значення. Розв'язок завдання зводиться до визначення кореня рівняння

$$R = \frac{Q_c(\tau)}{\lambda_c} \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i.$$

Тому що в розглянутому випадку $\sum_{i=1}^n \lambda_i r_i = 10506 \cdot 10^{-5}$, $\lambda_c = 8,24 \cdot 10^{-5} \text{ час}^{-1}$, $R = 5000$, те, підставляючи ці значення в останнє вираження, одержимо:

$$5000 = 1275(1 - e^{-8,24 \cdot 10^{-5} \tau})$$

Вирішуючи це рівняння одержимо критичне значення τ .

У комірці 316 уведемо: $=\text{LN}(1-B4*C8/C10)/C8$

У нашому прикладі речовинного кореня немає. Це значить, що при будь-якому t ризик системи не перевершує припустимого значення.

3.4.9 Дослідження залежності $GR(t, n)$

Для аналізу залежності $GR(t, n)$ представимо цю функцію у вигляді графіків і таблиць. Графіки дозволять зробити якісний аналіз, а таблиці — кількісний. Далі описуються процедури вистави функцій у вигляді графіків і таблиць за допомогою Excel.

Припустимо, що система складається з n рівнонадійних елементів, кожний з яких має інтенсивність відмов λ . Тоді функція $GR(t, n)$ буде виражатися формулою

$$G_R(t, n) = \frac{R_c(t)}{R_c^*(t)} = \frac{1 - e^{-n\lambda t}}{n(1 - e^{-\lambda t})}$$

Спочатку введемо часовий діапазон t (рис 4.8)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
43														
44														
45														
46			№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
47			время t	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	

Рисунок 4.8 – Проміжний результат обчислень

Далі введемо в гніздо D48 формулу знаходження $G_R(t, n)$ при n:

$$=(1-EXP(-\$B\$2*\$F\$14*D47))/\$B\$2/(1-EXP(-\$F\$14*D47))$$

«розтягнемо» цю формулу по всьому діапазону часу t (гнізда D48:M48). Уведемо в гніздо D49 формулу знаходження $G_R(t, n)$ при 3n:

$$=(1-EXP(-3*\$B\$2*\$F\$14*D47))/3/\$B\$2/(1-EXP(-\$F\$14*D47))$$

«розтягнемо» цю формулу по всьому діапазону часу t (гнізда D49:M49). Уведемо в гніздо D50 формулу знаходження $G_R(t, n)$ при 5n:

$$=(1-EXP(-5*\$B\$2*\$F\$14*D47))/5/\$B\$2/(1-EXP(-\$F\$14*D47))$$

«розтягнемо» цю формулу по всьому діапазону часу t (гнізда D50:M50). дивись рисунок 4.9

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
43													
44													
45													
46			№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
47			время t	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
48			Gr(t, n) при n	0,96387	0,9295637	0,896981	0,866024	0,836601	0,808627	0,78202	0,756706	0,732613	0,709673
49			Gr(t, n) при 3n	0,88964	0,79548178	0,71487	0,645614	0,585899	0,534222	0,489334	0,450197	0,415944	0,385851
50			Gr(t, n) при 5n	0,82298	0,68685023	0,581117	0,498148	0,432351	0,379613	0,336886	0,301898	0,272948	0,248748

Рисунок 4.9 – Попередній результат обчислень

З таблиці (рис 4.9) видно, що функція $GR(t, n)$ є убутною. Це означає, що зі збільшенням часу й збільшенням числа елементів погрішність наближеної формули зростає.

Побудуємо графіки для 3 значень n: для n, 3n, 5n, де n - число елементів системи.

- 1) пункт меню: вставка \ діаграма
- 2) вибираємо вид графіка
- 3) вибираємо діапазон: =Аркуш1!\$C\$48:\$M\$50
- 4) вісь x: t вісь y: $GR(t, n)$
- 5) готове

У підсумку одержимо сімейство кривих з яких можна зробити два важливі висновки (рис. 4.10):

1. Чим більше елементів n і чим більше час роботи системи, тим більше похибка наближеної формули.
2. Наближеною формулою можна користуватися в тому випадку,

коли час роботи системи мало й ризик, обчислений по наближеній формулі, не перевищує припустимого значення.

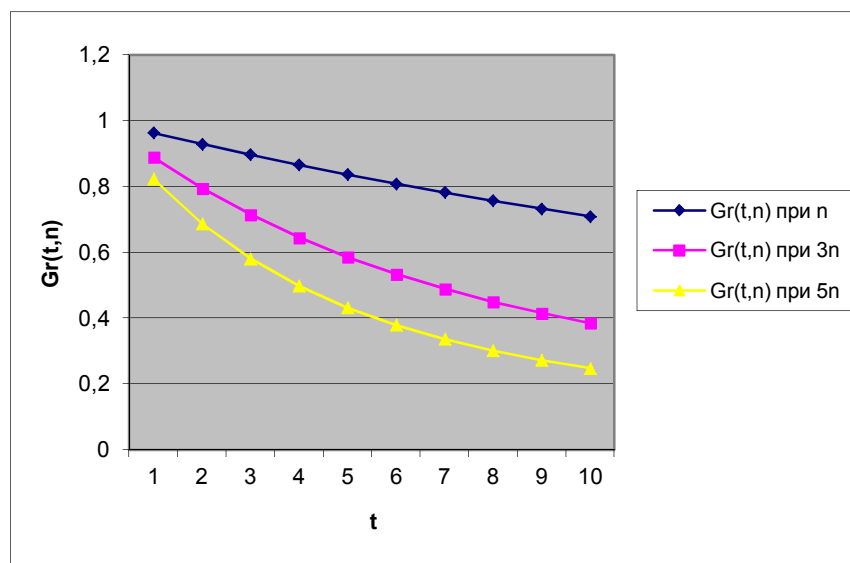


Рисунок 4.10 – Графік функції $G_R(t, n)$

3.4.10 Варіанти завдань до практичного завдання 2

У завданнях прийняті наступні позначення:

T — сумарний час роботи системи, година.

R — припустимий ризик, усл. ед.

λi -інтенсивність відмов i -го елемента, година⁻¹.

r_i -ризик системи через відмову i -го елемента, усл. ед.

Варіант 1

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}$, год ⁻¹	1,1	0,5	3	4,2	3,6	2,1	4,4	4,8
r , ум. од.	2500	6000	3000	2850	6180	4200	680	1000

$$T = 1450 \text{ год}, R = 7500 \text{ ум. од.}$$

Варіант 2

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}$, год ⁻¹	2,1	1,5	3,2	2,2	3,9	2,4	1,4	1,8
r , ум. од.	6800	9200	2000	20000	6450	5200	1680	160

$$T = 1350 \text{ год}, R = 3500 \text{ ум. од.}$$

Варіант 3

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}$, год ⁻¹	0,1	2,5	3,1	1,2	1,6	2,3	0,4	4,6
r , ум. од.	10500	8000	6000	285	6000	5200	68000	1400

$$T = 2350 \text{ год}, R = 2500 \text{ ум. од.}$$

Варіант 4

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	1,6	1,3	2,3	4,1	3,2	2,7	0,4	0,8
$r, \text{ ум. од.}$	3500	6450	3250	28500	6780	4280	2680	1800

$$T = 3500 \text{ год}, R = 7000 \text{ ум. од.}$$

Варіант 5

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	1,1	2,5	3,7	0,2	2,6	2,4	1,4	3,8
$r, \text{ ум. од.}$	5200	4200	1400	2850	6460	44560	8080	3000

$$T = 4000 \text{ год}, R = 7500 \text{ ум. од.}$$

Варіант 6

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	3,1	1,5	2,9	4,7	3,2	2,9	2,4	1,8
$r, \text{ ум. од.}$	2500	6000	3000	2850	6180	4200	680	1000

$$T = 1450 \text{ год}, R = 6500 \text{ ум. од.}$$

Варіант 7

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	1,2	2,8	4,3	4,1	0,6	0,1	2,5	1,7
$r, \text{ ум. од.}$	4500	6500	3100	1850	6350	5200	380	1400

$$T = 4350 \text{ год}, R = 3500 \text{ ум. од.}$$

Варіант 8

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	0,8	0,7	2,7	1,9	4,6	2,2	3,4	4,2
$r, \text{ ум. од.}$	500	600	300	285	618	420	680	100

$$T = 4450 \text{ год}, R = 6500 \text{ ум. од.}$$

Варіант 9

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	3,1	2,5	3,2	2,2	2,6	2,4	4,1	3,8
$r, \text{ ум. од.}$	1500	2000	3100	3850	3180	3200	3680	3000

$$T = 2050 \text{ год}, R = 3700 \text{ ум. од.}$$

Варіант 10

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	1,1	2,5	3	4,4	3,3	2,2	4,6	4,1
$r, \text{ ум. од.}$	3500	6300	3300	3330	6380	4300	6830	1300

$$T = 1290 \text{ год}, R = 5700 \text{ ум. од.}$$

Варіант 11

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	2	0,5	1	4	3	2	4	4
$r, \text{ ум. од.}$	3500	4000	3400	4850	4180	4400	6480	1400

$$T = 1540 \text{ год}, R = 5070 \text{ ум. од.}$$

Варіант 12

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	1,1	0,5	3	4,2	3,6	2,1	4,4	4,8
$r, \text{ ум. од.}$	3500	5000	3500	5850	5180	5200	5680	1500

$$T = 4150 \text{ год}, R = 5078 \text{ ум. од.}$$

Варіант 13

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	1	0,2	2,3	2	3,3	2,4	4,6	4,1
$r, \text{ ум. од.}$	3500	6500	5000	2550	6580	4500	6580	1050

$$T = 5450 \text{ год}, R = 750 \text{ ум. од.}$$

Варіант 14

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	3	3,5	2	4	3	2,5	2,4	3,8
$r, \text{ ум. од.}$	5500	6050	3050	5800	6150	4250	6850	1550

$$T = 430 \text{ год}, R = 700 \text{ ум. од.}$$

Варіант 15

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	2,1	2,5	2,3	4,1	4,6	4,1	4,2	4,5
$r, \text{ ум. од.}$	4500	6040	3400	4850	6480	4400	6840	1400

$$T = 1290 \text{ год}, R = 550 \text{ ум. од.}$$

Варіант 16

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$	3,1	1,5	3,5	4,6	1,6	2,7	3,4	4,4
$r, \text{ ум. од.}$	2540	6400	30400	2840	6140	4240	6480	1040

$$T = 3500 \text{ год}, R = 500 \text{ ум. од.}$$

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Безпека життєдіяльності. За ред. В. Г. Цапка. – Київ : Видавництво «Знання», 2003 – 397с.
2. В. С. Джигирей. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. – Київ :Видавництво «Знання», 2002 – 205с.
3. Безопасное взаимодействие человека с техническими системами / В. Л. Лапин, Ф. Н. Рыжков, В. М. Попов, В. И. Томаков. – Курск, 2005. – 238 с.
4. Дж. Сандлер. Техника надежности систем: Пер. с англ. – М.: Наука, 2006. – 300 с.
5. Р. А. Перелет, Г. С .Сергеев. Технологический риск и обеспечение безопасности производства. – М.: Знание, 2012. – 64 с.
6. В. И. Томаков. Прогнозирование техногенного риска с помощью «Деревьев отказов»: Учебн. пособие / Курск. гос. техн. ун-т. – Курск, 2012. – 99 с.
7. Б. Диллон, Ч. Сингх. Инженерные методы обеспечения надежности систем. – М.: Мир, 2011. – 318с.
8. Р. Хевиленд. Инженерная надежность и расчет на долговечность / Пер. с англ. Б. А. Чумаченко. – М.: Энергия, 2010. – 232с.
9. Л. Г. Евланов. Теория и практика принятия решений. – М.: Экономика, 2008. – 176 с.
10. Меламедов И.М. Физические основы надежности. Л.: Энергия, 2010. – 152с.
11. Э. Мушик, П. Мюллер. Методы принятия технических решений: Пер. с нем. – М.: Мир, 2010. – 208с.
12. Предупреждение крупных аварий: Практическое руководство; Пер. с англ. М.: МП «Рарог», 2012. – 256 с.
13. Риск как точная наука // Наука и жизнь. 1991. №3. С.2-5, 59-64.
14. М. А. Ястребенецкий, Г. М. Иванова. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 264 с.
15. А также в области ... увечий мы впереди планеты всей / И. Якубзон. Охрана труда и социальное страхование. 1996. №1. С.1-2.
16. П. И. Кох. Климат и надежность машин. – М.: Машиностроение, 2011. – 176с.
17. М. А. Шахрамьян, В. И. Ларионов, Г. М. Нигметов и др. Комплексная оценка риска от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Безопасность жизнедеятельности. 2001. №12. С. 8-14.
18. П. А. Долин Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
19. В. Я. Манойлов Основы электробезопасности. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 384с.

Навчальне видання

Методичні вказівки
до самостійного вивчення і виконання
розрахунково-графічного завдання
з дисципліни

Надійність технічних систем і техногенний ризик

*(для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання
галузі знань «Цивільна безпека»)*

**Укладачі: АБРАКІТОВ Володимир Едуардович
ГРЯЗНОВА Світлана Аркадіївна**

Відповідальний за випуск *В. Е. Абракітов*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2014, поз. 121М

Підп. до друку 26.12.2014
Друк на різнографі.
Зам. №1

Формат 60х84/16
Ум. друк. арк. 1,7
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017 р.